



ECOLE SUPERIEURE D'AGRICULTURES
55, rue Rabelais – B.P. 748
49007 ANGERS CEDEX 01
TEL : 02.41.23.55.55



INSTITUT TECHNIQUE DE L'AGRICULTURE
ET DE L'ALIMENTATION BIOLOGIQUE
149, route de Bercy
75595 PARIS CEDEX 12
TEL : 01.40.04.50.64

COMPARAISON DE DEUX STRATEGIES DE CREATION DE POPULATIONS DIVERSIFIEES DE BLES TENDRES ADAPTEES A L'AGRICULTURE BIOLOGIQUE



STAGE Recherche et Innovation – 2019
Mots-clefs : CCP, population dynamique, agriculture biologique

GORIOUX Henri
Promotion : 117



"Ce rapport fait partie du projet LIVESEED qui a reçu un financement du programme de recherche et d'innovation Horizon 2020 de l'Union européenne dans le cadre de la convention de subvention n° 727230 et du Secrétariat d'État suisse à l'éducation, à la recherche et à l'innovation (SERI) sous le numéro de contrat 17.00090. Les informations contenues dans ce rapport reflètent uniquement le point de vue de l'auteur. La Research Executive Agency n'est pas responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations fournies".

"This report is part of LIVESEED project that has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement No 727230 and by the Swiss State Secretariat for Education, Research and Innovation (SERI) under contract number 17.00090. The information contained in this report only reflects the author's view. The Research Executive Agency is not responsible for any use that may be made of the information provided."

Comparison of two strategies of creation of soft wheat diversified population adapted to organic farming

Author: Henri Gorioux

Promotion: 117

Report description: 29 pages, 21 figures, 20 bibliographic references

Key words: Composite cross population, dynamic population, breeding, seeds, organic farming, *Triticum aestivum*

Objectives:

The objective of the study is to compare two strategies of creation of soft wheat population genetically diversified: composite cross population (CCP) and dynamic population (PopDyn), in terms of evolution of the diversity through time and agronomic potential. Also, the influence of the environment as well as the influence of human's selection on the population is studied.

Material and Methods:

The first strategy, the PopDyn, consists in mixing equal quantities of parents varieties and letting this mixture evolve over the years. The CCP consists in crossing parents 2 by 2 and mixing the progenies, and also letting the mixture evolve over the years as well. The parents used for both strategies are the same. This year is the 5th year of cultivation of the populations after their creation.

The populations evolve on organic farms to be as close as possible to real farming conditions. In order to study the impact of the environment, the populations are evolving on two different farms since the second generation: one in Bouchemaine (Maine-et-Loire), and one at "La Saudrais" (Ille-et-Vilaine). One farmer (at Bouchemaine) and two bakers (at "La Saudrais") have made a selection of 60 spikes in each of the 2 populations in 2018, according to their own criteria.

In 2018, 10 populations were sowed. On each one, field measurements were made on 60 matured stalks. Then, the 60 corresponding spikes from the measured stalks were collected to realize new observations at the laboratory. Statistical analyses on quantitative and qualitative traits were made on the obtained results.

Results:

After 5 generations, CCP and PopDyn in natural evolution do not show differences neither on agronomic performances nor in expression of their genetic diversity. Human selection seems to maintain the populations' diversity and as well as they enhance their performances. The environment seems to have a greater influence on the populations' agronomic performances than the strategy. Also, it seems that the environment influences some phenotypic characteristics such as the form and "blackness" of the spikes.

Conclusion:

This year's results (2019) show few differences between the populations. After 5 generations it seems the choice of strategy has no effect neither on performances nor on the expression of genetic diversity. The main factor of influence seems to be the environment, then the human selection and finally the strategy.

Remerciements

Je souhaite remercier toute l'équipe BCRP pour leur accueil chaleureux et leur bonne humeur. Ils ont su m'intégrer, j'ai beaucoup appris pendant ces 3 mois, et pour cela je leur en suis très reconnaissant.

Plus spécialement, je tiens à remercier Margaux Kutelmach pour son aide et ses blagues, ainsi que ma maître de stage Estelle Serpolay pour m'avoir offert cette opportunité et avoir su m'accompagner.

Table des matières

Introduction	1
1. Bibliographie.....	2
1.1. Cadre du stage.....	2
1.1.1. L'ITAB.....	2
1.1.2. L'équipe de recherche BCRP.....	2
1.1.3. Projet de recherche Liveseed.....	3
1.2. Agriculture biologique.....	4
1.2.1. Définitions et caractéristiques.....	4
1.2.2. Enjeux de l'AB.....	5
1.2.3. Une réglementation spécifique.....	5
1.2.4. Les semences en AB.....	6
1.3. La sélection des plantes.....	7
1.3.1. Historique.....	7
1.3.2. Une réglementation restrictive.....	7
1.3.3. Besoins spécifiques pour l'AB.....	9
1.3.4. Exemple du blé.....	9
1.4. Quelle sélection pour le blé en AB ?.....	10
1.5. Problématique et hypothèses.....	10
2. Matériels et méthodes.....	12
2.1. Création des populations.....	12
2.2. Facteurs et modalités.....	13
2.3. Observations.....	14
2.3.1. Observations quantitatives.....	14
2.3.2. Observations qualitatives.....	15
2.4. Traitements de données.....	15
2.4.1. Statistiques descriptives.....	15
2.4.2. Analyse en composante principale.....	16
2.4.3. Indice de diversité de Nei.....	16
3. Résultats.....	18
3.1. Données qualitatives sur les épis.....	18
3.1.1. Descriptions des populations.....	18
3.1.2. Diversité des populations.....	19
3.1.2.1. Impact du lieu et de la stratégie sur la diversité des populations en évolution naturelle.....	19
3.1.2.2. Influence de la sélection humaine sur la diversité des populations.....	20
3.2. Données quantitatives : comportements agronomique des populations.....	22
3.2.1. Boîtes à moustache.....	22
3.2.2. Analyses en composantes principales (ACP) pour déterminer l'impact des différents facteurs sur les populations.....	23
3.2.2.1. Influence du lieu.....	23
3.2.2.2. Influence de la sélection humaine.....	24
3.2.2.3. Influence de la stratégie.....	25

3.3. Synthèse.....	25
4. Discussion.....	27
4.1. Propositions d'améliorations.....	27
4.2. Réflexions sur l'expérimentation.....	27
Conclusion.....	29
Bibliographie.....	30
Annexes.....	32

Introduction

Le terme « agriculture biologique » (AB) est issu de la traduction de l'expression « organic agriculture » qui fut utilisée par l'agronome anglais Sir Albert Howard dans son *Testament Agricole* (1940). Dans son livre, il y décrit les principes et sa vision de l'AB. Si ces derniers sont encore d'actualité, l'AB s'est aujourd'hui organisée et réglementée. Cette réglementation, associée à l'histoire de la domestication et de l'amélioration des plantes, aboutit aujourd'hui à un manque de semences adaptées à l'AB. La littérature indique qu'il y a une nécessité de variétés à haute diversité génétique pour les agricultures bios alors que l'évolution de la sélection des plantes a suivi la voie d'une homogénéisation toujours plus forte et un encadrement réglementaire qui conforte cette homogénéité.

Des agriculteurs bios, désireux de plus d'autonomie sur le plan des semences et surtout plus de diversité, sont de plus en plus nombreux à se réapproprier les semences en les sélectionnant eux-mêmes à partir de "variétés anciennes". Les techniques de sélection sont variées mais vont souvent vers une diversification des variétés. Certains d'entre eux travaillent avec des chercheurs à travers des projets de recherche pour étudier l'impact de leurs pratiques et les améliorer. Ils se posent notamment la question de l'efficacité des croisements par rapport au simple mélange dynamique pour le blé.

L'équipe BCRP de l'INRA de Rennes a saisi l'opportunité d'un projet de recherche européen en 2013 pour lancer une expérimentation à long terme qui vise à étudier cette question en créant 2 populations expérimentales diversifiées de blé tendre. Ce rapport présente les résultats de la campagne de culture 2018-19 de ces populations.

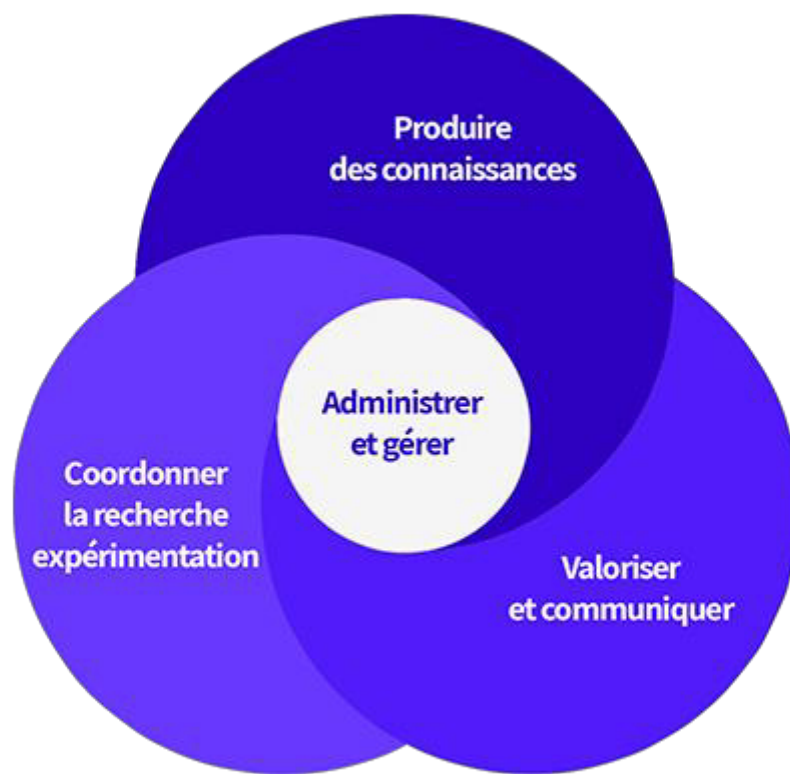


Figure 1: Pôles d'organisation de l'ITAB (ITAB. 2019)

1. Bibliographie

1.1. Cadre du stage

Mon stage RI a été réalisé au sein de l'équipe de recherche BCRP de l'INRA-ITAB, dans le cadre du projet de recherche européen Liveseed.

1.1.1. L'ITAB

L'Institut de l'agriculture et l'alimentation biologiques, créée en 1982, est une association d'utilité publique dédiée au développement de l'Agriculture Biologique (AB). Elle coordonne la recherche expérimentation en agriculture biologique en France. C'est l'interlocuteur national sur tout ce qui concerne la recherche-expérimentation et la technique en AB. Ses principales missions sont :

- identifier les besoins et les attentes techniques et technico-économiques des acteurs de l'AB et définir des orientations nationales en matière de recherche et d'expérimentation en AB
- monter des projets et proposer des programmes de recherche, assurer l'appui méthodologique et la concertation
- valoriser les résultats de recherche (partage des connaissances à travers des guides et cahiers techniques, articles, colloques ou conférences) (ITAB, 2019)

L'ITAB regroupe aujourd'hui 70 adhérents, représentants de l'ensemble des acteurs de la filière. L'association contient aussi 30 collaborateurs répartis en pôle thématiques et dans 6 antennes régionales.

1.1.2. L'équipe de recherche BCRP

L'unité mixte de recherche Biodiversité, AGroécologie et Aménagement du Paysage (UMR BAGAP) associe l'Institut national de la recherche agronomique (INRA), Agrocampus Ouest, et l'École supérieure d'agricultures (ESA) d'Angers. Son enjeu est de favoriser les multiples fonctions des paysages (production agricole, contrôle biologique des ravageurs de culture, pollinisation, support de la biodiversité d'intérêt patrimonial et ordinaire) en développant une approche centrée sur une agro-écologie du paysage pour l'action (INRA, 2019). L'unité se divise en 5 thématiques de recherche : Biodiversité cultivée et recherche participative, Conservation de la biodiversité en milieu agricole et urbain, Biodiversité et régulation

biologique, Fonctionnement des exploitations agricoles, et Analyse et modélisation du paysage.

L'équipe Biodiversité Cultivée et Recherche Participative (BCRP) étudie la diversité génétique des semences paysannes (quelles que soient les espèces) et son intérêt pour les agricultures paysanne et biologique, pour des produits de qualité, spécifiquement adaptées aux terroirs et aux pratiques diversifiées des agriculteurs. Ce travail se fait à travers des projets de recherche participative, multi-acteurs et transdisciplinaire. La thématique est insérée dans des réseaux européens d'acteurs engagés dans le développement de systèmes alimentaires diversifiés, depuis la production jusqu'à la consommation dans leurs contextes environnementaux, culturels, sociaux et économiques (INRA, 2019). L'équipe est composée de 8 personnes de l'INRA, ainsi que d'une chargée de mission de l'ITAB.

1.1.3. Projet de recherche Liveseed

En 2012, l'équipe BCRP est investie dans le programme de recherche européen COBRA (2012-2015) (Coordinating Organic plant BREeding Activities for Diversity). Il avait pour objectifs de soutenir et de développer la sélection et la production de semences à destination de l'AB, en se concentrant en particulier sur l'utilisation de variétés à diversité génétique élevée. Il proposait entre autres : d'améliorer les méthodes permettant de garantir la qualité et la santé des semences ; de déterminer le potentiel d'augmentation de la résilience, de l'adaptabilité et des performances générales des systèmes biologiques, en utilisant des variétés avec des niveaux de diversité élevés ; ou encore d'améliorer l'efficacité de la sélection et de développer de nouvelles méthodes pour maintenir et encourager la diversité variétale. Au sein de ce programme, en accord avec les enjeux et objectifs de l'ITAB et de l'UMR, l'équipe BCRP s'est impliquée dans la tâche d'augmenter la diversité dans les populations à travers le projet « CCP ». L'objectif de ce dernier est de créer et d'amplifier 2 populations génétiquement diversifiées de blé tendre avec 2 méthodes de sélection (Composite Cross Population et population dynamique), à partir de mêmes parents, afin de comparer les deux structures en termes de potentiel agronomique et d'évolution de la diversité au cours du temps. Aujourd'hui l'étude des 2 populations continue dans le cadre d'un autre projet de recherche européen sur les semences pour l'Agriculture biologique : Liveseed (2017-2021). L'objectif de Liveseed est d'améliorer la transparence et la

compétitivité des semences et du secteur semencier biologique, pour encourager une plus grande utilisation de semences biologiques.

1.2. Agriculture biologique

1.2.1. Définitions et caractéristiques

La fédération internationale des mouvements d'agriculture biologique (IFOAM - International Federation of Organic Agriculture Movements) définit l'agriculture biologique comme étant : « un système de production qui maintient la santé des sols, des écosystèmes et des personnes. Elle s'appuie sur des processus écologiques, sur la biodiversité et sur des cycles adaptés aux conditions locales, plutôt que sur l'utilisation d'intrants ayant des effets néfastes. L'agriculture biologique allie la tradition, l'innovation et la science au bénéfice de l'environnement commun promeut des relations justes et une bonne qualité de vie pour tous ceux qui y sont impliqués. » (IFOAM, 2019). En France, le ministère de l'agriculture et de l'alimentation la décrit comme un « mode de production qui trouve son originalité dans le recours à des pratiques culturelles et d'élevage soucieuse des équilibres naturels. ».

Ces définitions sont récentes, tout comme l'émergence de l'agriculture biologique. Dans les années 1930, l'agronome anglais sir Albert Howard, parallèlement et en opposition avec l'industrialisation et les avancées techniques agricoles, place le sol ce « milieu vivant » au centre de sa réflexion. Il recommande dans son ouvrage *Testament Agricole* une association cultures-élevage avec une fertilisation naturelle et organique : organic agriculture. Le terme fut traduit par agriculture biologique en français. Dans les précurseurs de l'agriculture biologique, on retrouve par ailleurs Hans et Maria Müller. Ces derniers préconisaient l'organisation de circuits courts entre la production et la consommation, et la nécessité de rechercher une autonomie de décision et de choix technique, craignant une aliénation des agriculteurs par l'encadrement socio-économique (Caplat, 2012).

L'AB est un système d'agriculture dynamique dont le concept s'est construit tout au long du XXe siècle. Elle se caractérise par la diversité de ses pratiques : biodynamie, permaculture, agroécologie, et d'acteurs qui la composent. Dans le souci de ses fondateurs, on pourrait simplement la définir par une agriculture qui respecte l'environnement, les cycles naturels et les équilibres humains (Caplat, 2012).

1.2.2. Enjeux de l'AB

Se contenter de dire que les enjeux de l'AB ne s'inscrivent que dans une dimension environnementale serait réducteur. Il est nécessaire aussi de prendre aussi en compte les aspects de santé humaine, d'alimentation, et d'économie. L'AB étant dans une dynamique de respect de l'environnement il est admis aujourd'hui qu'elle lui est bénéfique (Caplat, 2012). Les performances environnementales de l'AB (comparées à l'agriculture conventionnelle (AC)) sont connues : diminution des gaz à effets de serres (GES), meilleure stockage du carbone atmosphérique malgré sa variabilité, rôle de réservoir de biodiversité, réduction de la présence de résidus phytosanitaires, diminution du lessivage du sol (Ministère de l'agriculture et de l'alimentation, 2012). Dans une période de réchauffement climatique et de perte de biodiversité, l'AB apparaît comme un levier majeur de la lutte contre ces problématiques. La contribution de l'AB à des enjeux sociaux et économiques est plus compliquée à établir. Néanmoins, d'après l'Agence Bio (2015) pas moins de 50% des producteurs bio déclarent vendre en direct. Le développement de l'AB est étroitement lié à celui des circuits courts, qui sont caractérisés par une valorisation du prix de revient aux producteurs mais aussi par une valorisation des échanges avec les consommateurs et le voisinage. Nécessitant beaucoup de main d'œuvre, l'AB se trouve aussi vecteur d'emplois (Ministère de l'agriculture et de l'alimentation, 2012).

1.2.3. Une réglementation spécifique

Bien qu'à ses débuts, l'agriculture biologique était complètement marginale, celle-ci a fini par attirer de plus en plus d'adhérents, et la filière s'est organisée et a formalisé des règles. Les premiers cahiers des charges ne venaient pas de directives d'institutions nationales ou européennes mais de démarches citoyennes avec la création d'associations. Nature & Progrès est la première association à s'en doter d'un en 1972. Sous cette impulsion fut mis en place la fédération internationale des mouvements de l'AB, IFOAM. Bien que définir les règles de l'AB pour l'ensemble de la planète soit en contradiction avec l'idée d'une AB qui s'adapte aux milieux et aux sociétés, des grands principes ont émergé du travail collectif des membres d'IFOAM : les principes de santé, écologie, équité et précaution restent une référence générale à travers le monde. Au niveau européen, une réglementation encadre les pratiques (règlement (CE) n°834/2007, et un nouveau règlement (UE) n°2018/848 entrera en application en 2021). Il interdit par exemple l'utiliser des OGM ; l'utilisation

d'intrants chimiques de synthèses est strictement réduite à des cas exceptionnels ; ou encore les semences et les plants utilisés doivent être produits selon le mode biologique pendant au moins une génération (eur-lex.europa.eu, 2019).

1.2.4. Les semences en AB

Bien qu'étant un intrant fondamental pour développer une agriculture biologique performante, on constate un manque de semences et de variétés adaptées à celle-ci. En effet, une semence biologique est une semence dont le porte-graine doit avoir été cultivé en AB, mais il n'y a pas d'indications concernant le cycle de sélection. Or, l'immense majorité des semences disponibles sur le marché est sélectionnée en conditions conventionnelles et donc adaptée à ces conditions.

Le manque de semences pour l'AB s'est fait sentir au moment de la mise en application d'un règlement européen : Organic Seed Regulation, imposant de produire bio avec de la semence AB. L'évolution de la demande de dérogations demandées par les agriculteurs pour utiliser des semences non bio montre l'indisponibilité des semences bio sur le marché. Malgré le fait qu'une grande majorité des agriculteurs bio utilisent volontiers des semences certifiées AB, le nombre total de dérogations reste très élevé, en céréales notamment, avec une utilisation inférieure à 70% de semences biologiques (Chable et Serpolay, 2016). On assiste finalement à un problème qui est double. Le premier est le manque de semences pour l'AB. Le second, l'inadaptation des semences standards pour des systèmes AB. Parce que l'AB est composée de systèmes à faibles intrants et qu'elle a pour objectif une production saine, il y a un besoin évident d'accès à un large spectre de semences adaptées. D'après une étude réalisée dans le cadre du projet SOLIBAM (projet de recherche européen 2010-2014), plusieurs facteurs limitent l'utilisation et l'offre de semences bio : le manque de rentabilité pour les semenciers, un prix élevé pour les producteurs, le manque de disponibilité de variétés adaptées, et le très faible investissement dans la sélection végétale biologique (Chable et Serpolay, 2016). Cette situation s'explique par l'histoire de l'amélioration des plantes qui a été, depuis le début de son développement, un des outils principaux de l'évolution industrielle de l'agriculture.

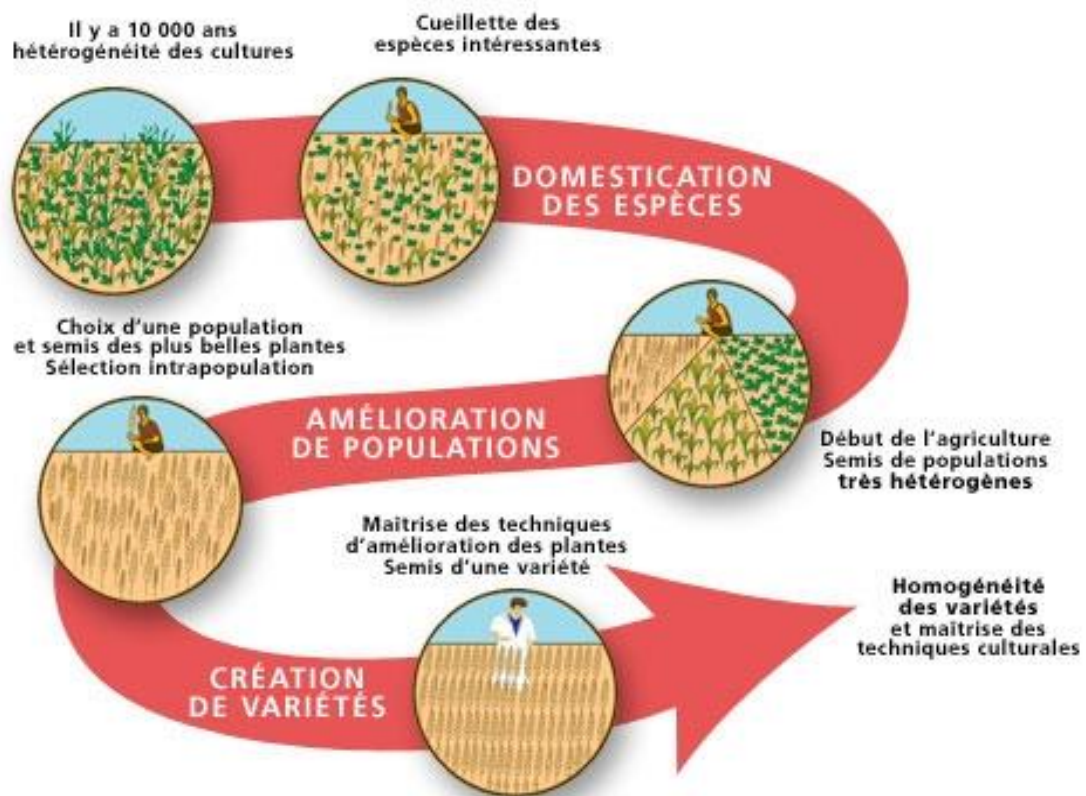


Figure 2: Histoire de la domestication des céréales (GNIS. 2019)

1.3. La sélection des plantes

1.3.1. Historique

La domestication des céréales à partir des populations sauvages commence il y a environ 12000 ans dans le croissant fertile et est étroitement liée à la naissance de l'agriculture. A travers le temps, les populations cultivées se sont diversifiées et échangées grâce au travail des paysans et à la diffusion de l'agriculture (Chable et Serpolay, 2016). Ces semences varient en fonction des milieux, des savoirs et des formes de sociabilités qui structurent les sociétés paysannes (Bonneuil et Thomas, 2012). Jusqu'au XIXe siècle, la sélection dite « massale » prévaut. Elle repose sur le choix des paysans de sélectionner des épis ou individus correspondant à leurs critères et formant des populations plus ou moins homogènes, appelées populations de pays ou « landraces » (Hamon, 2007). A partir du XIXe siècle, suite à l'émergence de la génétique (lois de Mendel) et dans un contexte de révolution industrielle, les sociétés occidentales vont développer des pratiques de sélection plus complexes et plus systématiques. En 1856, Louis de Vilmorin propose sa méthode de sélection généalogique à des populations de blé (plante autogame) et est à l'origine du concept de variété-lignée pure : des lignées stables où tous les individus sont identiques entre eux et homozygotes (Gallais, 2018). A cela s'ajoute la redécouverte en 1900 des « lois de Mendel » régissant la transmission et la descendance de certains caractères distinctifs, ce qui va intensifier la pression de sélection. L'amélioration des plantes au XXe siècle va faire naître les lignées élites modernes que l'on connaît aujourd'hui : sélectionnées dans et adaptées à des conditions à fort niveaux d'intrants. Les variétés améliorées sélectionnées ont permis une impressionnante augmentation des rendements dans un contexte d'industrialisation de l'agriculture. Elles sont plus productives, plus résistante à certaines maladies, et permettent une prédiction des performances (dans un système conventionnel, donc maîtrisé). Cependant, cela a mené à la réduction de la base génétique des plantes cultivées et à la disparition massive des variétés locales (Hamon, 2007).

1.3.2. Une réglementation restrictive

Le XXe siècle et l'avènement du fordisme voit apparaître une division du travail avec la création de métiers pour la création variétale, la multiplication des semences, et leur production. La création et la mise sur le marché des semences deviennent le domaine

réservé des maisons de semences. Cette évolution du travail s'est vue accompagnée d'une évolution de la réglementation concernant les semences.

Durant la seconde guerre mondiale, le régime de Vichy mène une politique dirigiste et interventionniste du secteur agricole, ce qui transforma radicalement le visage du secteur semencier et de la recherche agronomique en France (Bonneuil et Thomas, 2012). La semence devient un moyen de faire entrer le progrès dans les fermes en étant associée aux engrais et pesticides chimiques et à l'amélioration de la mécanisation. Pour accompagner ce système, en 1941 et 1942 sont créés respectivement le Groupement national interprofessionnel des semences (GNIS) et le Comité Technique Paritaire des Semences (CTPS). Ces deux instances, encore existantes, couvrent tous les aspects de la question semencière, depuis la création variétale jusqu'aux autorisations de commercialisation. Le catalogue officiel des variétés (créé en 1949) donne les normes de conformité auxquelles doivent correspondre les objectifs de sélection pour la production de semences commercialisables. Les variétés inscrites sont tenues de répondre à 3 critères obligatoires qui sont la distinction, l'homogénéité et la stabilité (DHS). Les variétés ne répondant pas à ces critères sont exclues du catalogue et ne peuvent donc pas être commercialisées (Bonneuil et Thomas, 2012). En grande culture, la variété doit aussi apporter un progrès significatif sur certains caractères agronomiques ou technologiques pour répondre aux critères VATE (Valeur Agronomique, Technologique et Environnemental) (GNIS, 2019). Les semences bénéficient aussi d'une protection intellectuelle. Si un agriculteur resème d'une année sur l'autre des semences d'une variété inscrite au catalogue officiel, pour certaines espèces, comme le blé, alors il doit s'acquitter de la Contribution Volontaire Obligatoire (CVO). Ce système est différent de celui des brevets et permet une compensation du manque à gagner pour les semenciers.

Ce modèle réglementaire sera remis en cause. Pour des raisons économiques (prix des semences) et d'autonomie (volonté de choisir leurs semences selon leurs critères) ou encore agronomiques (non adaptation des semences commerciales à leurs conditions, notamment en AB), des agriculteurs choisissent de produire et sélectionner leurs propres semences. Cela conduit à la constitution de mouvements autour de la conservation de la biodiversité et la réappropriation de la création variétale des paysans.

1.3.3. Besoins spécifiques pour l'AB

Par la multitude de ses contextes pédoclimatiques et sociaux, la diversité, et notamment du point de vue des variétés, est une nécessité pour l'AB. Les effets de la diversité créée (intra et inter-variétales) peuvent être défini selon les 4C : Complémentarité, Coopération, Compensation et Capacité. L'utilisation de mélange est connue comme pouvant bénéficier d'une complémentarité entre les espèces sur différents aspects tels que la disponibilité en nutriments ou l'efficacité d'utilisation de l'eau. Pour la coopération, on trouve chez des populations diversifiées plus de résistance induite contre des pathogènes des plantes. Ce mécanisme s'appelle l'allélopathie. L'hétérogénéité d'une culture montre plus de capacité d'adaptation aux changements pédoclimatiques (dû à la diversité génétique). Enfin, une population diversifiée possède la capacité de compensation et d'adaptation en cas d'agression (climatique ou pathogène) ce qui diminue le risque de faibles rendements et les stabilise (Döring et al, 2011). De façon générale, la diversité est identifiée comme facteur d'une meilleure productivité par sa capacité à faire face aux maladies, ravageurs, changements climatiques, et ainsi stabiliser les rendements (Wolfe et al, 2008).

1.3.4. Exemple du blé

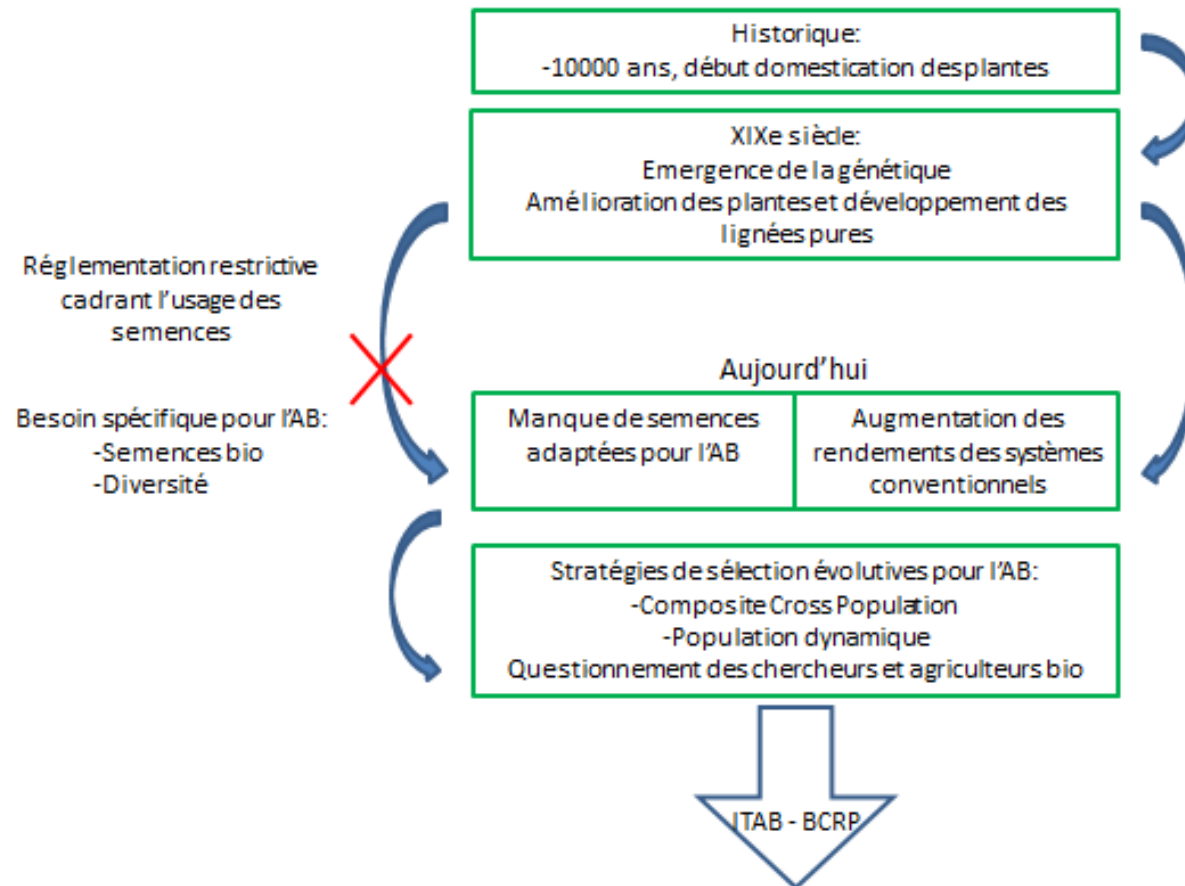
Le blé a bénéficié de cette "amélioration". Les résultats sont spectaculaires, les rendements ont triplés au cours des 50 dernières années. De nombreuses résistances ont été introduites contre diverses maladies (oïdium, piétin-verse et rouille notamment), mais le facteur clé fut l'introduction de gènes de nanisme dans la plupart des variétés pour contrer les risques de verse, ce qui a permis de régulariser les rendements et la qualité. Aujourd'hui entre 2/3 et 3/4 des variétés de blé inscrites au catalogues officiel français possèdent au moins un gène de nanisme (Doré et Varoquaux, 2006). Le cas du blé est très représentatif de l'homogénéisation génétique et ainsi de la diminution de la diversité cultivée. On estime la diminution de la diversité génétique du blé *in situ* (« sur site », c'est-à-dire dans leurs milieux naturels) à 50% sur le siècle dernier. Seulement cette diminution génétique de la diversité cultivée entraîne une augmentation des risques vis-à-vis de l'adaptation aux changements climatiques (Goldringer et al, 2014). De manière générale, une baisse de diversité génétique diminue la capacité d'un agrosystème à maintenir son équilibre (Naville, 2005).

1.4. Quelle sélection pour le blé en AB ?

Malgré les performances permises par l'amélioration des plantes, on observe aujourd'hui que cela n'est pas sans conséquences, l'une de ces conséquences étant le manque de semences adaptées aux systèmes bio. Ainsi, pour la sélection du blé en AB, la diversité génétique est un besoin. Différentes approches se côtoient pour répondre à ce besoin. Une des approches est de créer des populations avec différentes variétés et ensuite de ressemer année après année la récolte. Cette approche, soumise à la sélection Darwinienne, génère des populations qui ne sont ni homogènes ni stables, mais au contraire qui sont génétiquement très diverses, ce qui leur permet d'évoluer à travers le temps (Döring et al, 2011). Il s'agit simplement de fournir à une population de la diversité génétique pour qu'elle puisse répondre de façon continue à la sélection naturelle (Wolfe et al, 2006). Plusieurs méthodes de création de populations diversifiées existent, notamment : la méthode de populations dynamiques (ou mélanges variétaux) et la méthode des Composite Cross Populations (CCP). La population dynamique consiste à créer un mélange de plusieurs variétés « parents » (choisi selon différents critères : rendement, résistance, etc.) dont la récolte est ressemée d'une année à l'autre. Dans une CCP, les variétés « parents » sont d'abord croisées entre elles. Les récoltes seront ensuite ressemées d'une année à l'autre. Ces méthodes évolutives d'amélioration des plantes ont déjà montré qu'elles pouvaient, après un certain nombre de générations, concurrencer les variétés commercialisées en termes de production (Suneson, 1956).

1.5. Problématique et hypothèses

Les recherches sur ces approches sont peu développées et pour pouvoir accompagner les agriculteurs bios dans leurs processus de décision, des éléments de réponse doivent être apportés. Parmi les agriculteurs sélectionnant leurs variétés de blé, nombreux sont ceux qui créent des mélanges dynamiques à partir des variétés qu'ils observent d'abord une à une dans leurs conditions. Certains, dans le cadre d'une collaboration avec la recherche, réalisent aussi des croisements et sélectionnent dans la descendance (projet national de sélection participative du Réseau Semences Paysannes, en collaboration avec L'INRA et l'ITAB). Cependant, des questions émergent chez les agriculteurs sur les différences qui pourraient exister entre ces 2 méthodes (CCP et population dynamique), notamment en termes de réponse à la sélection et de rapidité d'évolution, de potentiel agronomique, de diversité,



Problématique: Quelles influences de la stratégie de sélection sur le comportement et la diversité de populations diversifiées de blé tendre adaptées à la bio ?

Hypothèse 1:
A la même génération, le niveau de diversité d'une CCP est supérieur à celui d'une population dynamique issus des mêmes parents

Hypothèse 2:
Le lieu de sélection a une influence sur le comportement et le niveau de diversité des 2 stratégies de sélection

Hypothèse 3:
La sélection humaine influe positivement sur le comportement des populations et homogénéise celles-ci

d'influence de l'environnement, de la sélection humaine, sur les 2 stratégies. L'équipe BCRP s'est donc emparée de ces questions pour essayer d'y répondre grâce aux 2 populations créées dans le projet COBRA. Ce qui nous a mené à cette problématique.

Quelles influences de la stratégie de sélection sur le comportement agronomique et la diversité de populations diversifiées de blé tendre adaptées à la bio ?

A partir des éléments de bibliographie présentés, les hypothèses suivantes ont été mise en place :

- A la même génération, le niveau de diversité d'une CCP est supérieur à celui d'une population dynamique issue des mêmes parents
- Le lieu de sélection a une influence sur le comportement et le niveau de diversité des 2 stratégies de sélection
- La sélection humaine influe positivement sur le comportement des populations et homogénéise celles-ci

Nous allons tenter de répondre à cette problématique par le travail qui sera présenté dans ce rapport.

2. Matériels et méthodes

L'objectif de l'expérimentation est de comparer les évolutions de deux populations de blé diversifiées issues des mêmes parents mais créées avec des stratégies différentes : une CCP et une Population Dynamique (appelée par la suite PopDyn). En 2019, l'influence de la sélection d'agriculteurs est aussi étudiée. La démarche pour répondre à notre problématique est décrite ci-après.

2.1. Création des populations

Pour la création des populations (CCP et PopDyn), 6 variétés de blé tendre d'hiver ont été utilisées comme parents :

- Saint Priest et le Vernois Rouge (SPVR)
- Bladette de Provence (BP)
- Redon Guer B7 15 729 (RGB7)
- Redon Guer 335 (RG335)
- Redon Sixt/Aff 346 (RSA)
- Redon Roux Pâle 1.13 (RRP).

Il s'agit de variétés "anciennes" françaises issues du centre de ressources génétiques des céréales à pailles de l'INRA de Clermont-Ferrand. Avant le début du projet, pendant plusieurs années elles ont été multipliées chez un agriculteur bio. Le choix de les prendre comme variétés parents pour construire les populations vient du fait qu'elles ont été identifiées par l'agriculteur comme ayant des potentiels agronomiques intéressants dans ses conditions et des comportements différents (pour maximiser les complémentarités). Cependant, cela introduit un biais dans la création des populations car il s'agit d'une pré-sélection de variétés adaptées un milieu spécifique.

La première année du projet (2013) a servi à créer la CCP. Les croisements furent réalisés sur 2 sites : l'INRA du Rheu et l'INRA du Moulon (partenaire du projet). Pour créer la population, les parents sont croisés deux à deux de manière à ce que chaque variété soit croisée avec les cinq autres en tant que « mâle » d'une part et « femelle » d'autre part. Il y a donc eu 60 croisements différents. Pour le semis en 2014, le mélange contenant toutes les graines issues des croisements est utilisé dans son intégralité car on est certains d'y retrouver la totalité des croisements. La population dynamique a été composée en mélangeant des

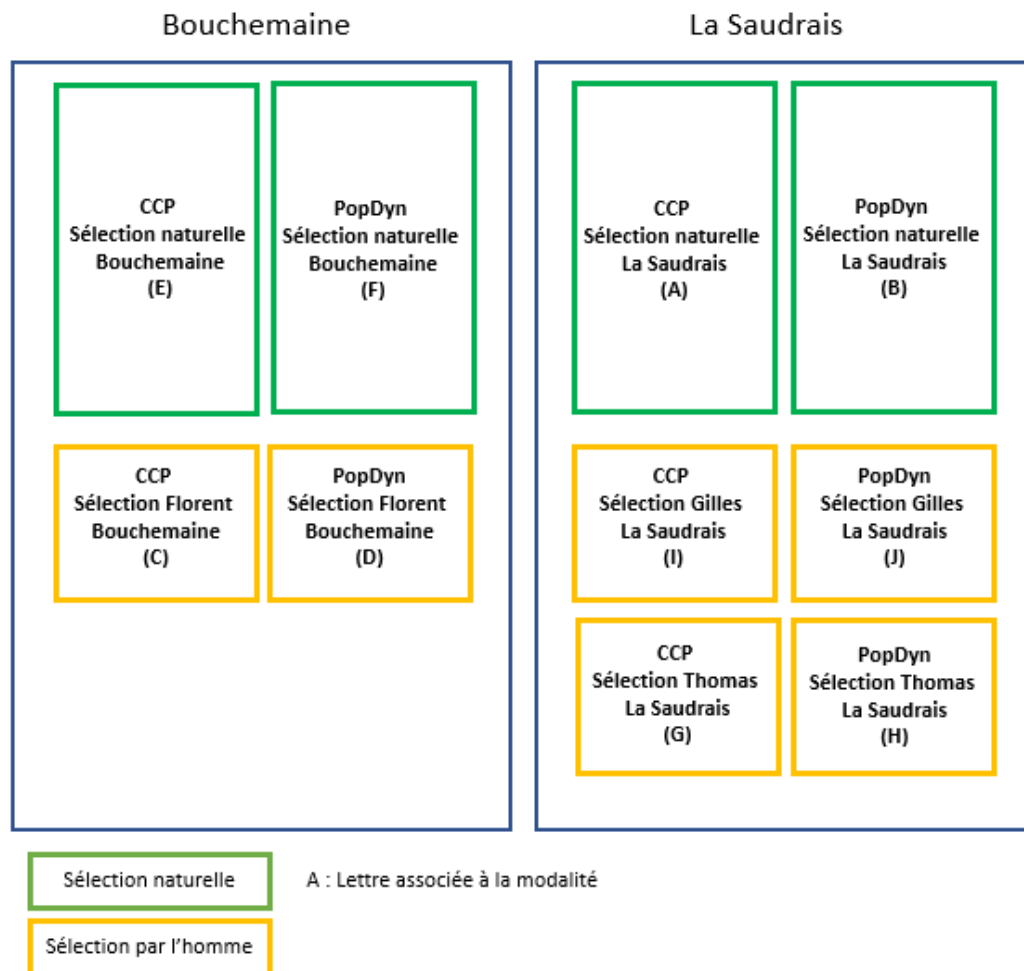


Figure 3: Modalités de l'expérimentation (2019)

proportions égales de chacune des six variétés parentes. Les 2 populations ainsi créées sont cultivées et ressemées tous les ans depuis 2014. La récolte des populations de cette année est la 5^{ième} génération après croisement ou composition (F5).

2.2. Facteurs et modalités

Dans ce projet on cherche à saisir les influences sur le comportement et la diversité des différentes stratégies de sélections. On retrouve d'abord la façon dont sont créées les populations : CCP et PopDyn (question à l'origine de l'expérimentation). Mais aussi, on cherche à comprendre l'influence du lieu sur ces dernières. De plus, on s'interroge sur la réponse de comportement et de diversité des populations lorsque soumis à une pression de sélection humaine.

Pour comparer les stratégies, les populations CCP et PopDyn soumis à la sélection naturelle sont simplement semées côte à côte sur les mêmes parcelles.

L'influence du lieu est étudiée en cultivant les populations sur 2 lieux différents avec des conditions pédoclimatiques et des précédents culturels différents. Pour être au maximum en conditions réelles de cultures, les populations sont cultivées sur des fermes d'agriculteurs bio : sur la ferme de Florent Mercier, en Maine-et-Loire, à Bouchemaine (d'où sont issus les parents) ; et sur la ferme de Gilles Simonneaux, en Ile-et-Vilaine, au lieu-dit « La Saudrais ».

Pour étudier l'influence de la sélection de l'homme sur celles-ci, en 2018, il a été demandé à un agriculteur et 2 boulangers (respectivement Florent, Gilles et Thomas) de sélectionner des épis dans les populations CCP et PopDyn correspondants à leurs critères (qu'ils soient de l'ordre de la performance agronomique ou autre). La sélection a été faite sur 60 épis, car comme nous verront plus bas, pour chaque modalité, 60 brins ou épis sont mesurés et observés. On considère que les populations d'origines était assez importante pour que ces sélections n'aient pas d'effet sur ces dernières.

Au total, en 2018, 10 modalités ont été semé : 4 modalités à Bouchemaine où l'on trouve la population CCP et la population PopDyn en sélection naturelle, et aussi les sélections de Florent (sélection réalisée en 2018) ; et 6 modalités à La Saudrais où en plus des populations en sélection naturelle se trouvent les sélections de Gilles et Thomas. Dans un souci de rigueur scientifique, pour évaluer les modalités dans les conditions de cultures les plus semblables possibles, les populations sont cultivées et ressemées côte à côte. Le blé est une

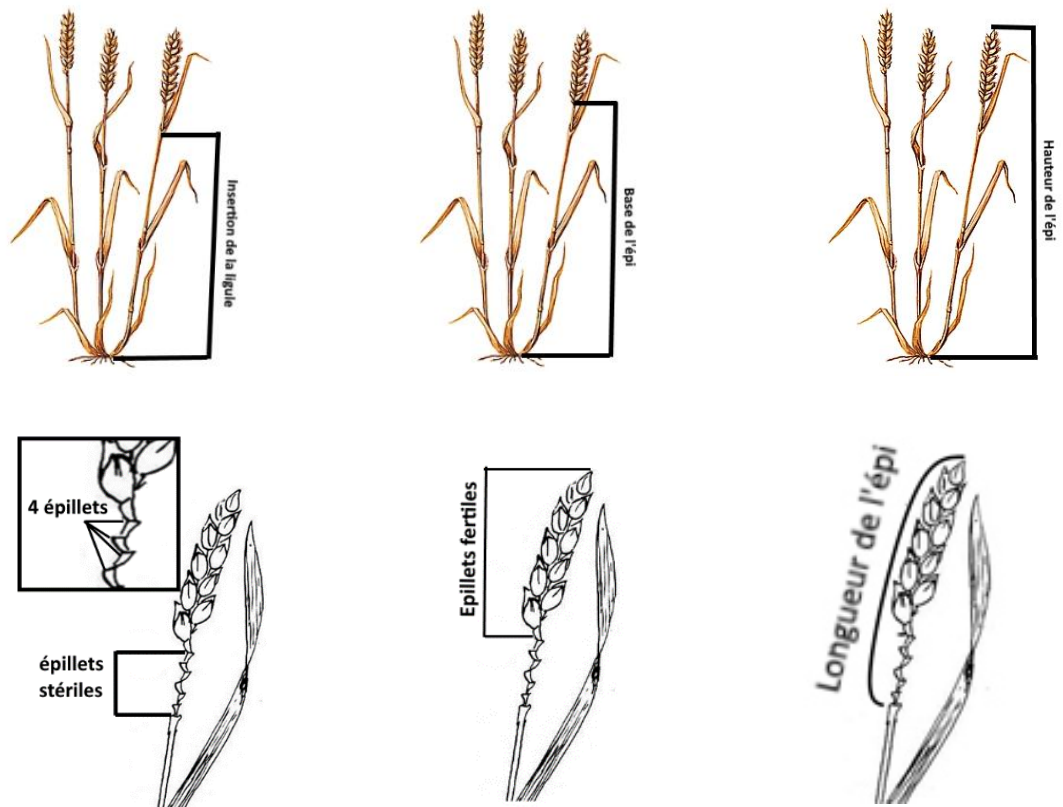


Figure 4: Observations quantitatives des individus

plante autogame dont le taux d'allogamie est très faible. Il est d'autant plus faible que lorsque que ce sont deux modalités séparées (Rieben et al, 2011). Etant très faible, on considère que la pollinisation croisée entre modalités ne perturbe pas l'évolution des populations ce qui nous permet de les semer côte à côte.

Pour faciliter la lecture des graphiques lors du traitement de données, des lettres ont été attribuées à chacune des modalités (Fig. 3).

2.3. Observations

Dans chaque modalité, un échantillon de 60 individus (correspondant à un brin d'un plant, et non pas à la plante entière) choisis aléatoirement est étudié. Le choix des mesures est basé et adapté à partir des descripteurs proposés par l'Union Internationale pour la Protection des Obtentions Végétales (UPOV) à l'examen de la distinction, de l'homogénéité et de la stabilité et à l'harmonisation des descriptions des obtentions végétales. Cela comprend des caractères quantitatifs et pseudo-qualitatifs (UPOV, 2002).

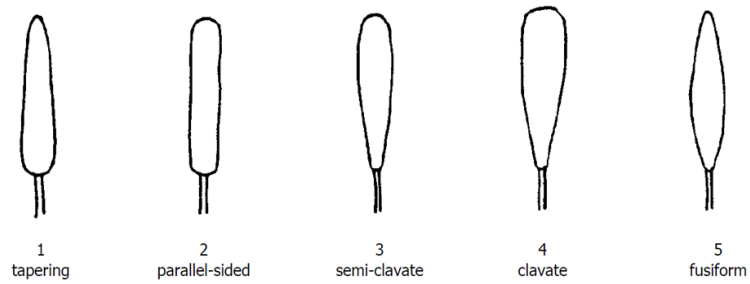
2.3.1. Observations quantitatives

Les caractères quantitatifs retenus sur les individus sont d'abord observés au champ. On mesure :

- La hauteur de l'insertion de la dernière ligule
- La hauteur de la base de l'épi
- La hauteur totale de la plante (haut de l'épi sans compter les barbes)

Cela permet de déduire la longueur de l'épi mais aussi la distance entre la dernière ligule et la base de l'épi (DLB). Ce dernier caractère est considéré important par les agriculteurs pour la qualité et la résistance aux maladies car une plus longue distance garde l'épi plus sec et prévient des maladies de l'épi qui migre depuis les feuilles (Serpelay et al, 2011). Sur chaque plante mesurée l'épi est prélevé et identifié pour réaliser d'autres observations au laboratoire. On compte sur chaque épi le nombre d'épillets stériles (E.Stériles) et fertiles (E.Fertiles). Puis les épis sont battus un par un ce qui permet de compter et peser les grains de chacun de manière individuelle pour en déterminer le PMG (Poids pour Mille Grains). Ces observations permettent d'étudier le comportement des populations et ainsi de visualiser leurs performances agronomiques (Fig. 4).

FORME



COULEUR

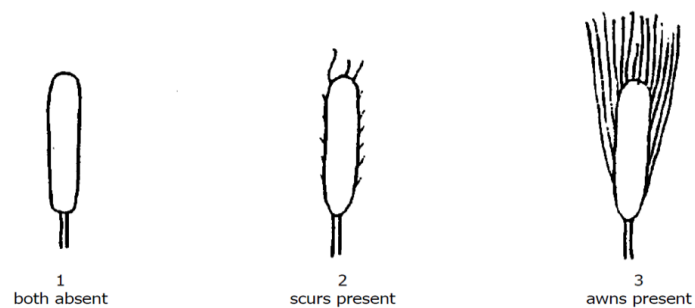
Blanc [1] – caramel [2] – rouge [3]



NOIRCEUR



BARBES



GLUMES



Figure 5: Observations qualitatives des individus

La population CCP en sélection naturelle à Bouchemaine ne contient que 58 individus pour l'étude des caractères quantitatifs pour cause d'une erreur de relevé.

2.3.2. Observations qualitatives

Les caractères pseudo-qualitatifs sont des caractères dont la gamme d'expression est au moins en partie continue, mais est pluridimensionnelle. De même que dans le cas des caractères qualitatifs (discontinus), d'où le terme "pseudo-qualitatifs", chaque classe d'expression est identifiée pour décrire correctement le caractère dans toute sa diversité (UPOV, 2002). Sont retenus comme caractères pseudo-qualitatifs (Fig. 5) :

- L'aristation (présence de barbes ou non sur l'épi) : réparti selon 3 classes
- La forme : 5 classes
- La "noirceur" : 5 classes, (distinct de la couleur, donnant un état général de l'état sanitaire extérieur de l'épi, la "noirceur" étant probablement causée par l'humidité)
- La pilosité des glumes : 3 classes
- La couleur : 3 classes

Un biais d'observation sur la couleur durant la première modalité fait que seulement les deux premières classes furent considérées pour l'intégralité des observations.

2.4. Traitements de données

Les analyses réalisées servent à vérifier nos hypothèses et à répondre à notre problématique.

2.4.1. Statistiques descriptives

Pour les variables quantitatives, on utilise des boîtes à moustache. Elles permettent de visualiser le profil des modalités selon les variables. Elles affichent la médiane, les quartiles, le minimum et le maximum de chaque échantillon. Ces boîtes sont entaillées de chaque côté. Cette représentation permet de visualiser un intervalle de confiance à 95% autour de la médiane. Si deux entailles de deux boîtes ne se superposent pas, on peut affirmer que les deux médianes sont significativement différentes (avec de se tromper égal à 5%). Concernant les variables qualitatives, on visualise la distribution des classes des variables de chacune des modalités sur des histogrammes. Ensuite des analyses plus approfondies pour vérifier les hypothèses ont été réalisés.

2.4.2. Analyse en composante principale

Les boîtes à moustaches sont faites critères par critères, des analyses en composantes principales (ACP) sur les caractères quantitatifs viennent compléter ces dernières. Celles-ci sont faites à l'aide du logiciel R. Elles permettent d'avoir une vision globale en intégrant tous les critères quantitatifs du comportement des modalités. Ainsi on peut évaluer les possibles influences de la stratégie, du lieu, ou encore de la sélection humaine.

L'ACP permet de visualiser et décrire les modalités selon les variables choisies dans un nouvel espace. La construction de ce nouvel espace se lit sur le cercle des corrélations où on observe quelles variables et avec quelle quantité d'inertie (quantité d'information) participent à la formation du plan factoriel. En plus, sur chaque représentation graphique des ellipses furent ajoutées avec les barycentres. Les barycentres représentent l'individu moyen d'une population, et les ellipses sont simplement des résumés graphiques des nuages pondérés. Au sein de chacune d'entre elle se trouve 95% des individus de la modalité. Elles permettent d'estimer la diversité intérieure à une modalité par leur taille, mais aussi de mieux comparer les modalités par leur situation selon les axes.

Les ACP ont été faites par groupe de 2 modalités comparables pour plus de clarté.

2.4.3. Indice de diversité de Nei

Les variables qualitatives sont utilisées pour définir l'état de diversité phénotypique des modalités. En effet, les caractères qualitatifs représentent de bons marqueurs de diversité en permettant souvent une interprétation directe au niveau allélique en raison d'une base génétique simple (mendélien ou monogénique, caractère héréditaire dominant). De plus, ils ne sont pas influencés par le milieu. Les caractères quantitatifs, ayant une base génétique plus complexe et étant très sensible à l'environnement, font de moins bons estimateurs de diversité (Dubois et al, 2006). Ainsi pour évaluer la diversité phénotypique d'une modalité, on utilise l'indice de diversité de Nei calculé pour chaque caractère qualitatif observé : forme, couleur, noirceur, barbes et glumes. Cette méthode définit la diversité comme la probabilité que deux individus choisis aléatoirement soient différents selon un caractère spécifique (Liebersohn, 1969). Elle s'applique à des données discrètes puisque la diversité phénotypique d'un caractère est calculée à partir du nombre et de la fréquence des classes différenciables. Pour des observations phénotypiques, on considère que chaque caractère

est associé à un locus, et chacune des classes à un allèle de ce locus. L'indice de Nei mesure une probabilité. La formule utilisée est la suivante :

$$H = 1 - \sum x_i^2$$

Avec H la probabilité de non-identité et x_i la fréquence de la $i^{\text{ème}}$ classe d'un locus. H mesure un caractère, et on notera \hat{H} la diversité phénotype intra-variétal moyenne. Les résultats sont compris entre 0 et 1, 0 étant une homogénéité parfaite et 1 une très forte hétérogénéité. Ainsi, le niveau de diversité d'une population est d'autant plus important que son indice de Nei tend vers 1.

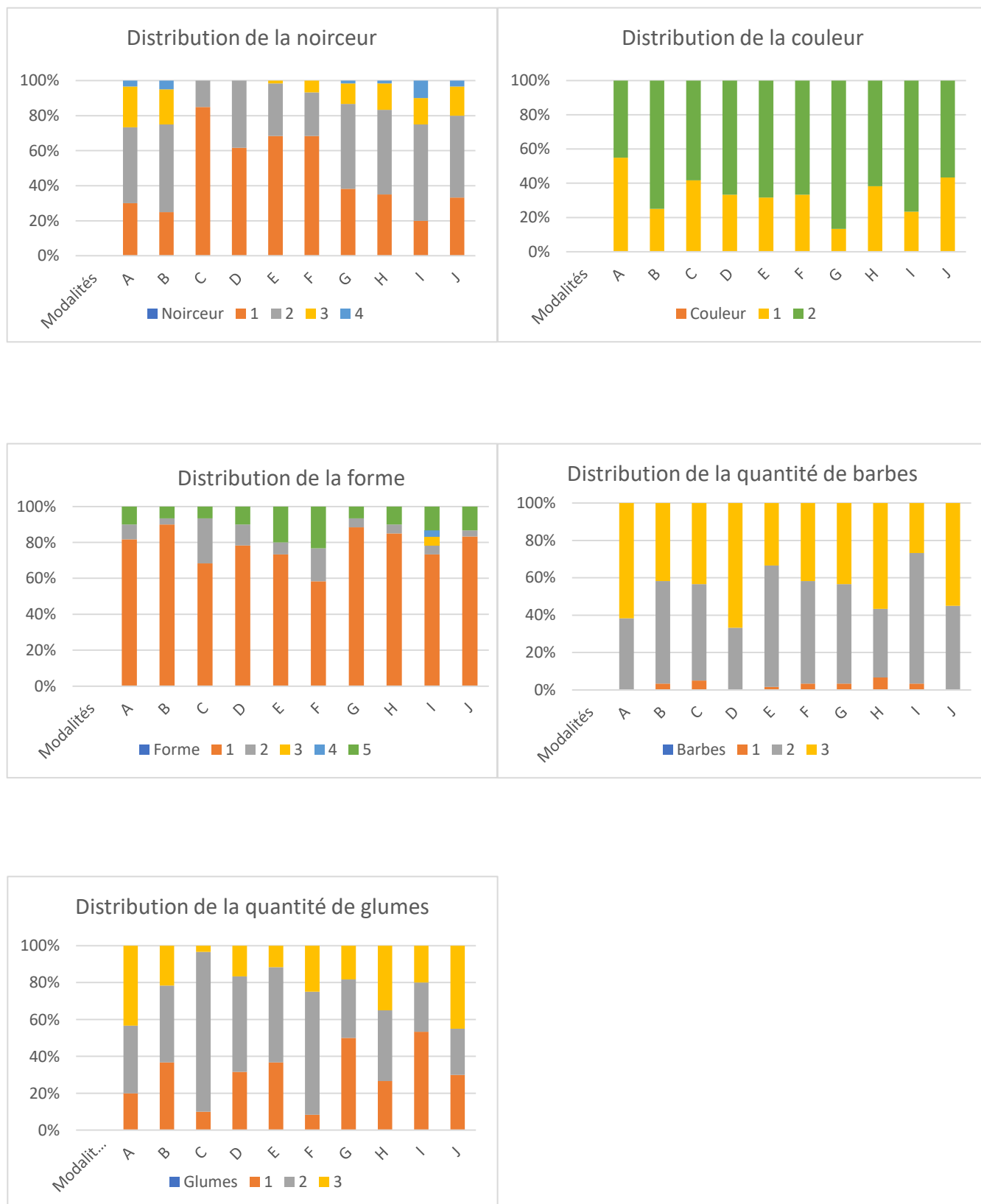


Figure 6: Histogrammes des fréquences des variables qualitatives

3. Résultats

3.1. Données qualitatives sur les épis

3.1.1. Description des populations

Les histogrammes des fréquences des variables qualitatives font apparaître quelques aspects intéressants.

La répartition de l'aristation et de la couleur des épis ne semble pas faire apparaître de particularités entre les modalités. Toutes les populations comportent une plus ou moins grande moitié d'épis barbus et pour les couleurs, seule A (CCP en sélection naturelle à la Saudrais) semble plus "rouge" que les autres modalités, toutes les populations ayant des proportions proches d'épis caramels et rouges. Ces deux résultats peuvent s'expliquer par le fait qu'il n'y ait pas beaucoup de valeur pour chaque critère (3) et que seulement 2 ont été observés.

Concernant la forme, l'ensemble des modalités est dominé par l'aspect de forme 1 ("tapering"). Seuls 3 formes sont observées, sauf sur la CCP sélectionnée par Gilles (I). Cela pourrait s'expliquer par le fait qu'il y ait très peu de formes 3 et 4 dans les populations initiales mais que ces formes plaisent beaucoup à Gilles et qu'il les ait particulièrement choisies en 2018 en faisant la sélection. On remarque aussi que les populations de Bouchemaine (C, D E et F) semblent comporter plus de formes 2 et 5 que celles de La Saudrais. Le lieu aurait un impact sur la forme des épis.

La distribution de la variable « glumes » montre que les sélections de Gilles et Thomas (CCP et PopDyn) sont très similaires, mais il semble difficile d'expliquer pourquoi.

Et enfin, sur l'histogramme de la noirceur on observe que les populations cultivées à Bouchemaine ont des épis avec bien moins de noirceur que ceux de La Saudrais. De plus, la sélection de Florent montre une sélection avec moins de noirceur que la sélection naturelle. La noirceur est identifiée comme étant l'expression d'une sensibilité des variétés à l'humidité (champignons qui se développent sur les épis). Seulement les deux lieux présentent des profils d'humidité différents. En effet, la parcelle de culture de Bouchemaine est plus sèche que celle de La Saudrais. Avec des niveaux d'humidité différents, les résultats sur la noirceur seront différents. Cependant, cela ne signifie pas que la sensibilité des populations soit différente.

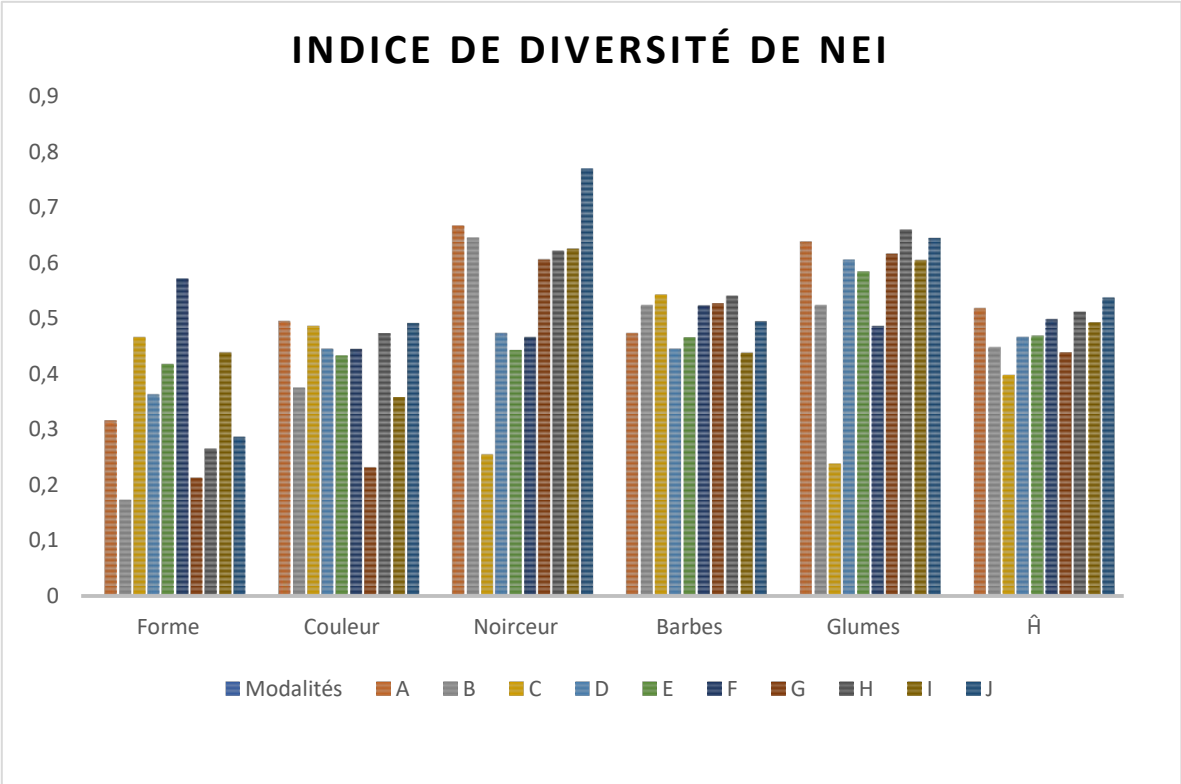


Figure 7 : Indices de diversité de Nei de toutes les modalités selon tous les variables

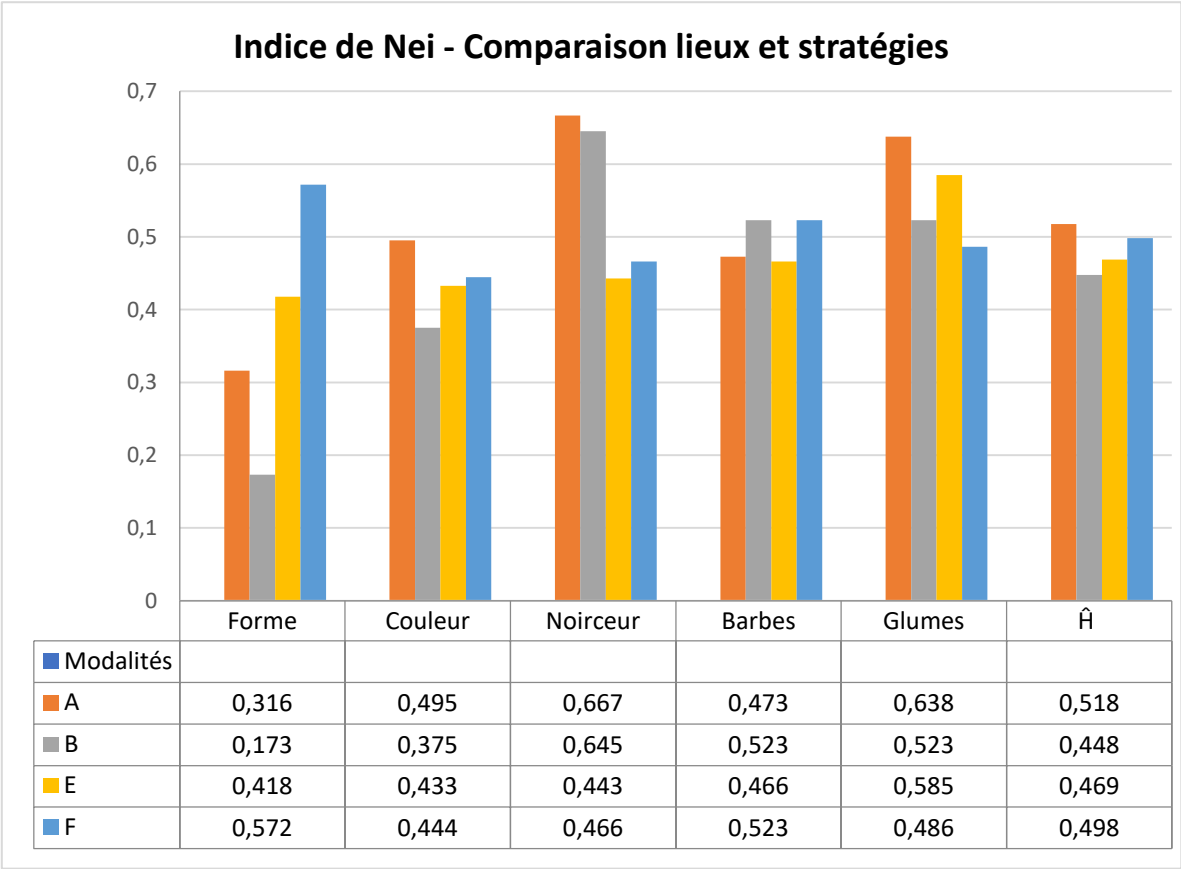


Figure 8 : Indices de diversité de Nei des populations en évolution naturelles

3.1.2. Diversité des populations

La figure 7 présente l'ensemble des données de diversité pour toutes les modalités étudiées. Pour plus de clarté dans l'analyse, nous présentons ensuite les résultats de diversité par facteur.

3.1.2.1. Impact du lieu et de la stratégie sur la diversité des populations en évolution naturelle

La figure 8 ci-contre présente les indices de Nei pour les populations en évolution naturelle des 2 populations sur les 2 lieux de culture.

Toutes les populations ont globalement le même niveau de diversité globale (\hat{H}), mais des différences apparaissent selon les critères.

Concernant la forme, les populations de la Saudrais ont un indice de diversité plus faible que les populations de Bouchemaine (respectivement 0.316 et 0.173 contre 0.418 et 0.572). On remarque aussi que le niveau de diversité des stratégies est différent entre les stratégies, mais de manière inversée selon les lieux. A la Saudrais, la CCP est 1,8 fois plus diversifiée que la PopDyn. A Bouchemaine, la CCP est 1,4 moins diversifiée que la PopDyn. Cette différence serait donc due à l'influence du lieu sur les stratégies et le lieu aurait une influence spécifique sur chaque stratégie.

Pour ce qui est de la variable « noirceur », les populations de la Saudrais sont plus diversifiées sur la noirceur que celles de Bouchemaine. Les différences entre les stratégies d'un lieu paraissent presque nulles. Encore une fois, il semble que le lieu ait une influence sur la noirceur peu importe la stratégie.

Sur les variables « couleur » et « barbes » les niveaux de diversité entre les lieux et stratégies ne diffèrent que très peu. Concernant les glumes, les CCP sont légèrement plus diversifiées que les PopDyn.

Si le niveau global de diversité \hat{H} ne révèle pas de différences entre les modalités, certains critères semblent montrer des différences de diversité selon les facteurs étudiés : le niveau de diversité des variables « forme » et « noirceur » apparaissent comme étant plus sensibles à l'influence du lieu, tandis que la variable « glumes » serait quant à elle légèrement dépendante de la stratégie.

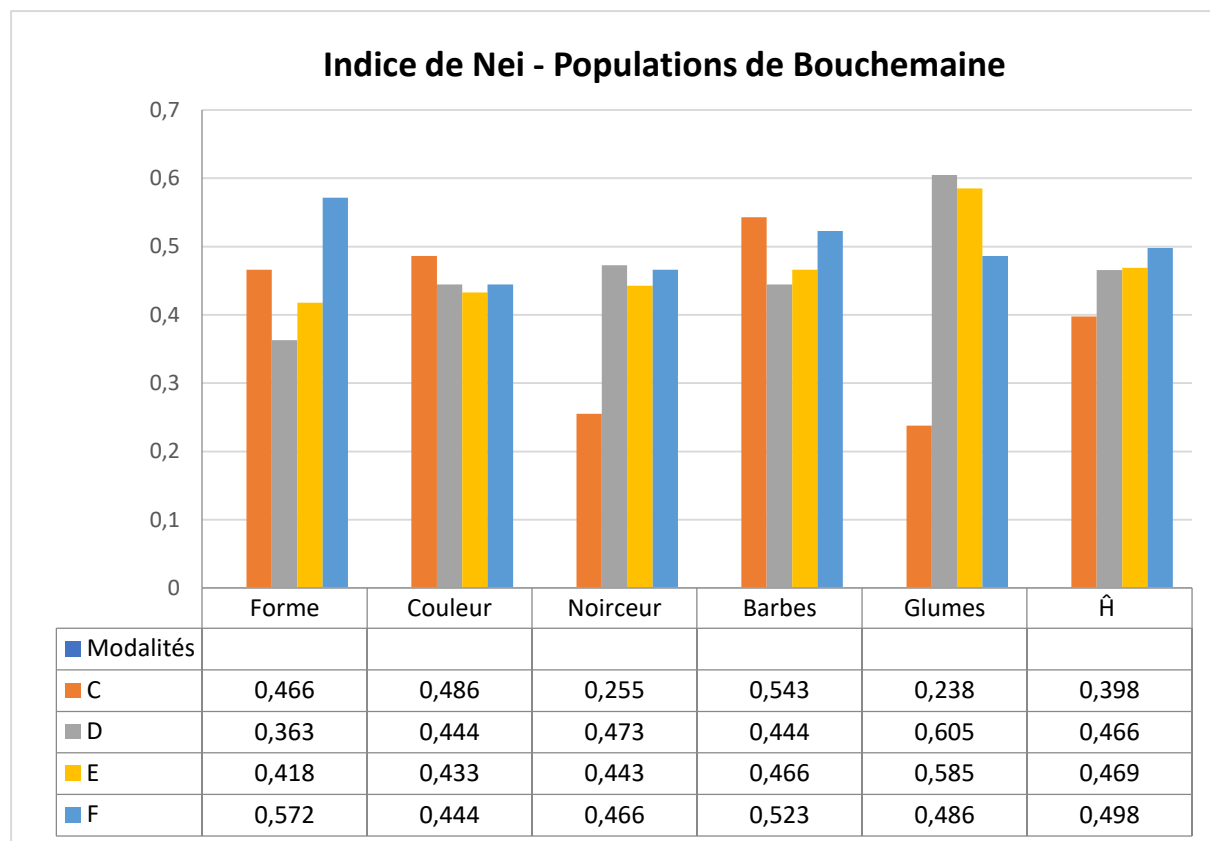


Figure 9 : Indices de diversité de Nei des populations de Bouchemaine

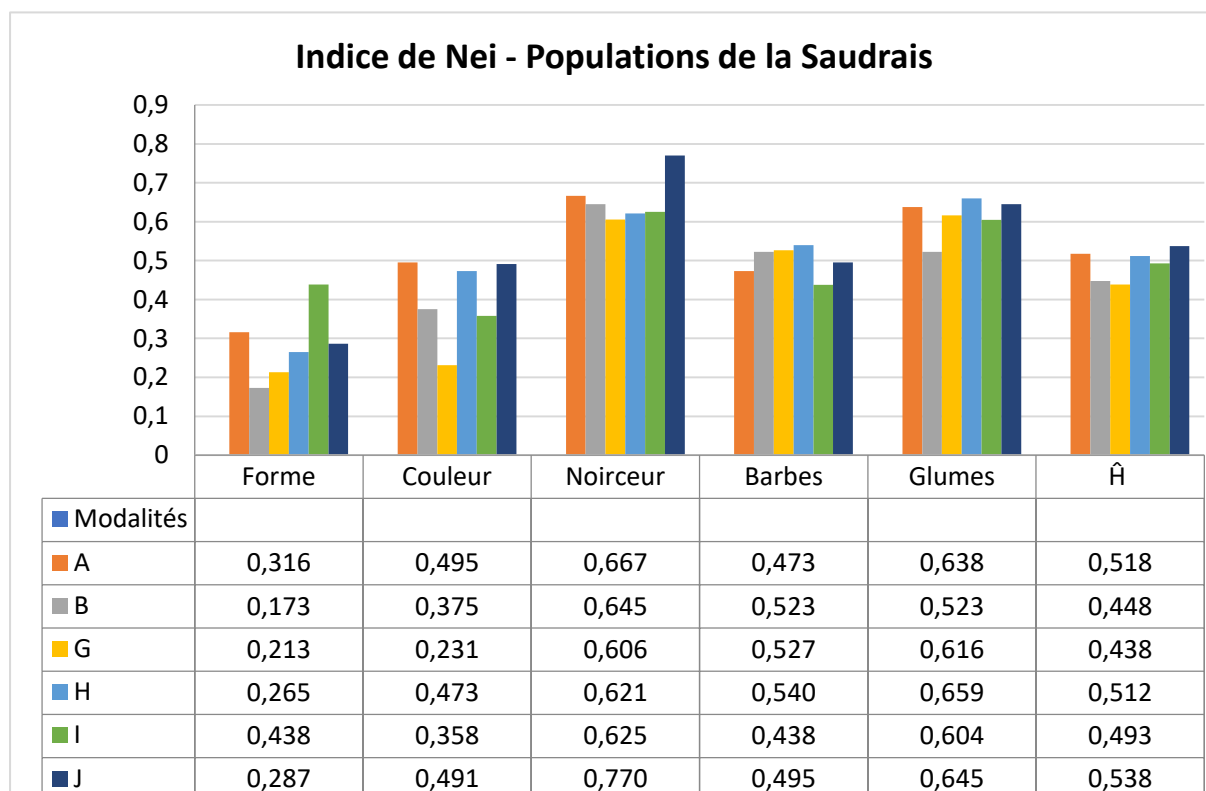


Figure 10 : Indices de diversité de Nei des populations de la Saudrais

3.1.2.2. Influence de la sélection humaine sur la diversité des populations

Pour la sélection humaine on compare les modalités par lieu.

La figure 9 présente les résultats de Bouchemaine : les niveaux de diversité des populations naturelles et sélectionnées par Florent.

En regardant le niveau de diversité général (\hat{H}), il semblerait que la sélection de Florent diminuerait légèrement la diversité des populations. Cependant, comme la diversité n'est pas réduite de manière stricte, la sélection de l'agriculteur conserve un niveau global d'hétérogénéité. En effet, les indices des \hat{H} des modalités de Bouchemaine restent dans l'ensemble compris entre 0,4 et 0,6. Cependant, si dans l'ensemble Florent ne diminue que très peu la diversité globale, la diversité diminue fortement sur la noirceur et les glumes de sa CCP, et sur la forme de sa PopDyn.

En effet, la variable « forme » montre que la diversité de la PopDyn en sélection naturelle est 1,6 supérieure à celle de Florent. Pour les variables « noirceur » et « glumes », la diversité de la CCP de Florent est respectivement 1,7 fois et 2,6 moins importante que la sélection naturelle.

Sur les autres variables, les niveaux de diversité ne diffèrent que très peu.

La figure 10 présente les résultats des indices de diversité des populations naturelles et sélectionnées par Thomas et Gilles à la Saudrais.

Si l'on regarde les indices généraux de diversité des populations à la Saudrais (\hat{H}), on remarque que dans l'ensemble les écarts d'indice sont peu importants. Comme pour les modalités de Bouchemaine, les \hat{H} sont compris entre 0,4 et 0,6. Les sélections humaines n'influencent pas de façon stricte le niveau de diversité des populations et conservent un niveau global d'hétérogénéité. Néanmoins, sur certaines on observe d'importants écarts de diversités.

La variable « forme » montre des écarts importants entre les CCP. Par rapport à la sélection naturelle, la sélection de Thomas réduit la diversité tandis que celle de Gilles l'augmente. Les PopDyn quant à elles montrent que les sélections de Thomas et Gilles augmentent la diversité par rapport à la sélection naturelle (les indices de Nei sont multipliés par 1,5 et 1,7 respectivement). Sur les CCP, ces résultats peuvent s'expliquer par un effet

d'homogénéisation de la sélection de Thomas, et un effet d'hétérogénéisation venant de Gilles. En effet, la sélection en CCP de Gilles contient contrairement aux autres modalités les 5 classes de formes. Néanmoins, cela ne signifie pas que les autres modalités ne présentent pas les 5 classes, seulement que parmi les individus prélevés les 5 classes de forme ne furent identifiées que dans la CCP de Gilles. Les différences en PopDyn, bien que notables, restent à relativiser. En effet, les indices des 3 modalités en PopDyn sont compris entre 0,173 et 0,287. Ce sont des indices encore faibles ne témoignant pas d'une grande diversité.

La variable « couleur » montre des écarts de diversité entre sélections humaines et naturelle. On observe que les PopDyn des sélections humaines sont plus diversifiées que la sélection naturelle. Concernant les CCP, les résultats montrent une diminution de la diversité des sélections humaines par rapport à la sélection naturelle. Bien que les augmentations de diversité de PopDyn en sélection humaine soient observables, elles restent encore relativement faibles. Les différences notées entre les CCP sont intéressantes. Il semblerait que sur cette variable, la CCP soit plus sensible à l'impact de la sélection humaine que les PopDyn qui au contraire semblent exprimer plus de diversité.

Sur la variable « noirceur », la seule différence notable est la PopDyn de Gilles dont la diversité est environ 1,2 fois supérieure que les deux autres modalités en PopDyn. Cet écart étant encore très faible, il ne semble pas témoigner d'un quelconque effet de sélection. Ce qui est intéressant d'observer cependant est le niveau de diversité global de cette variable. En effet, les indices sont compris en 0,606 et 0,770, ce qui témoigne d'un fort niveau de diversité pour chacune des modalités.

Pour la variable « glumes », les modalités en CCP présentent des résultats très similaires. Les modalités en PopDyn des sélections de Thomas et Gilles sont légèrement plus diversifiées que la modalité en sélection naturelle (respectivement 1,3 et 1,2 fois supérieur). Comme pour la variable « noirceur », la variable « glumes » possède un niveau global de diversité fort puisque les indices des modalités sont compris entre 0,523 et 0,659.

Les différences de diversité entre les modalités sur la variable « barbes » sont très faibles.

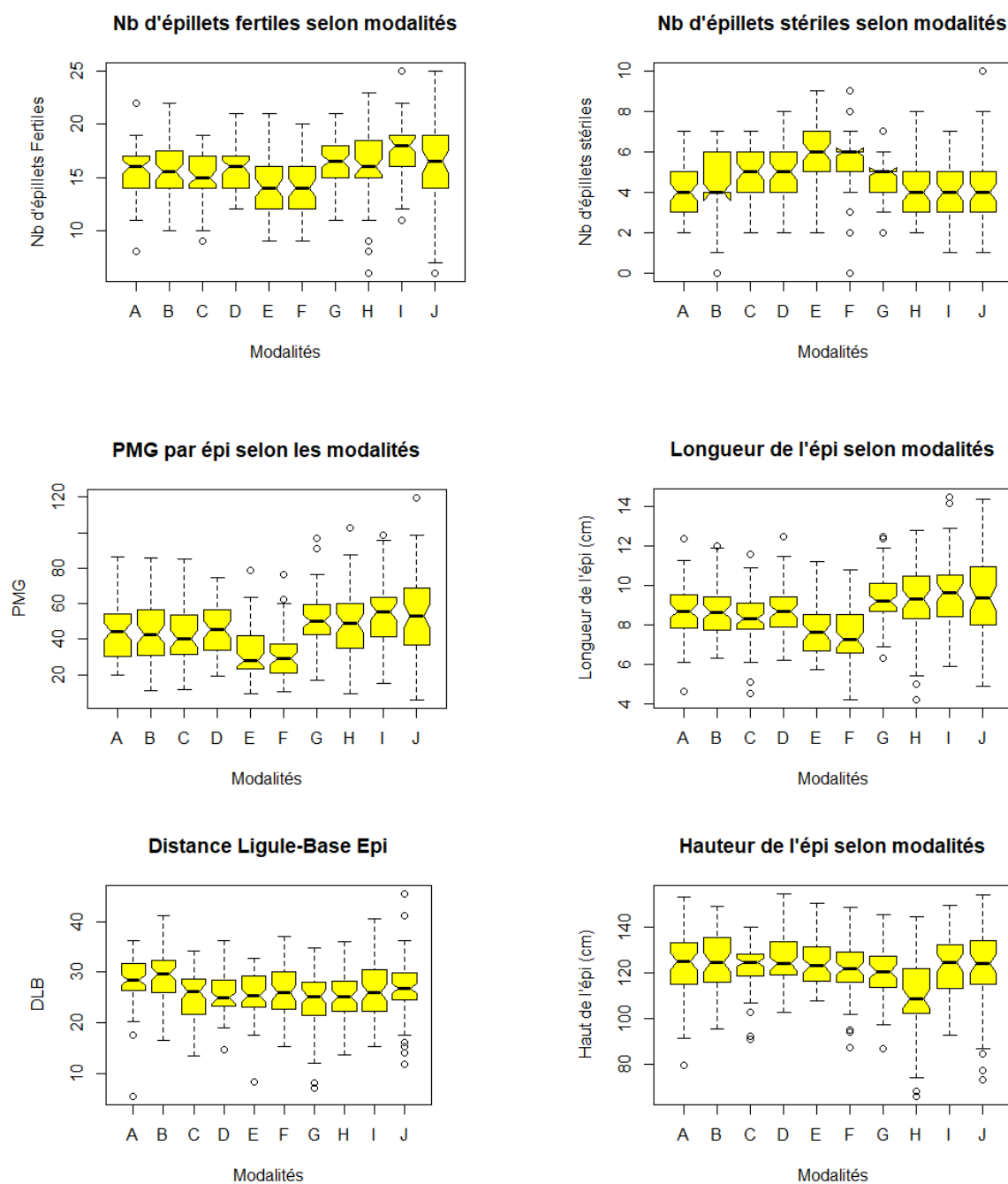


Figure 11 : Boîtes à moustaches des modalités selon les variables quantitatives

3.2. Données quantitatives : comportement agronomique des populations

Les données quantitatives seront expliquées dans un premier temps à travers les boîtes à moustaches, ensuite par les ACP.

3.2.1. Boîtes à moustache

La figure 11 montre les boîtes à moustache le profil des modalités selon les variables quantitatives utilisées.

Les boîtes à moustaches de la "distance dernière ligule-base de l'épi" (DLB) ne montrent pas d'importantes différences entre les modalités que ce soit par rapport à la moyenne ou la dispersion des individus. Néanmoins, on peut observer que les populations en sélection naturelle de la Saudrais ont des DLB plus grandes. Aussi, la PopDyn de Gilles possède par rapport aux autres plus d'individus aux valeurs aberrantes (sa sélection est donc plus diversifiée que les autres populations sur ce critère).

Concernant les hauteurs de plantes, les populations de Thomas ont des moyennes plus faibles que les autres modalités de la Saudrais. Il semblerait que Thomas ait exercé une sélection sur la taille des individus en créant des populations plus petites. Par ailleurs, on remarque sa PopDyn a une importante diversité de taille (grande dispersion des données sur ce critère).

Les sélections naturelles de Bouchemaine ont un nombre d'épillets fertiles plus faible que les autres populations. Ce qui permet de remarquer que Florent a sélectionné des épis avec plus d'épillets fertiles. La CCP de Gilles montre une sélection particulièrement portée sur un nombre important d'épillets fertiles, bien que sa PopDyn possède une diversité très forte sur ce critère.

Les sélections naturelles de Bouchemaine ont un nombre d'épillets fertiles plus faibles et un nombre d'épillets stériles plus grand que les autres populations. Les sélections de Florent indiquent aussi un grand nombre d'épillets stériles. Il semblerait que le lieu influence cette variable. La CCP de Gilles comparée aux populations de la Saudrais contient des épis avec plus d'épillets stériles.

La figure sur la longueur de l'épi montre clairement un effet de la sélection humaine. Les sélections de Gilles et Thomas contiennent des épis plus longs que ceux en sélection

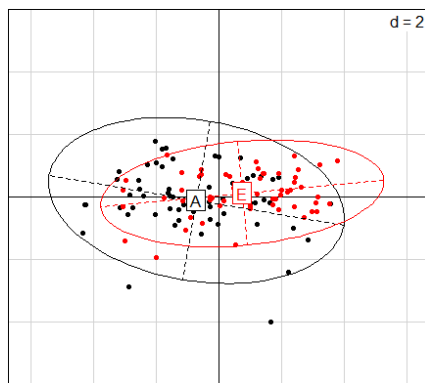


Figure 12: ACP des CCP en sélection naturelle de la Saudrais (A) et Bouchemaine (E)

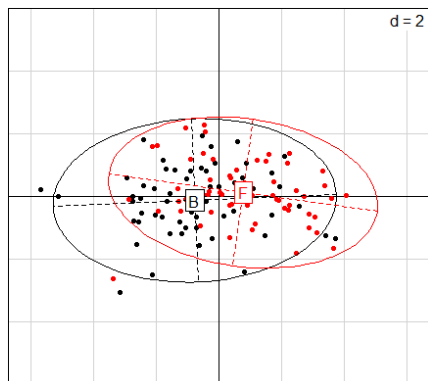
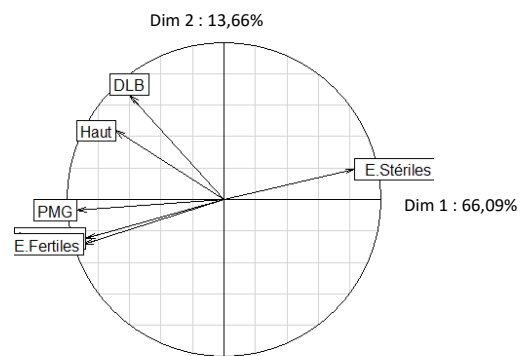


Figure 13: ACP des PopDyn en sélection naturelle de la Saudrais (B) et Bouchemaine (F)

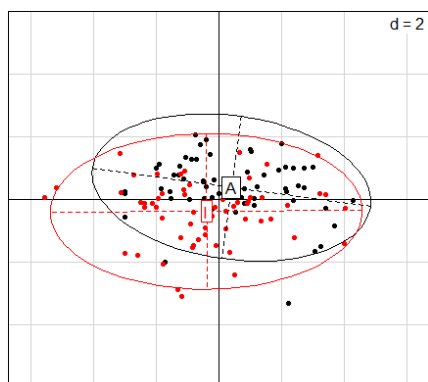
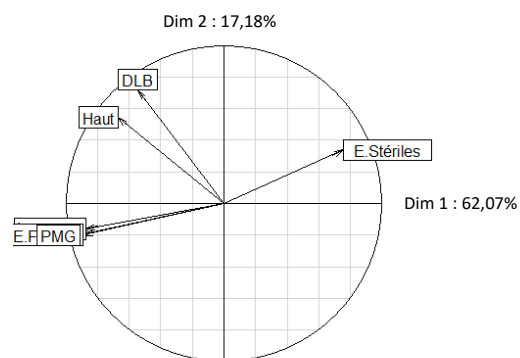


Figure 14: ACP des CCP de Gilles (I) et en sélection naturelle (A)

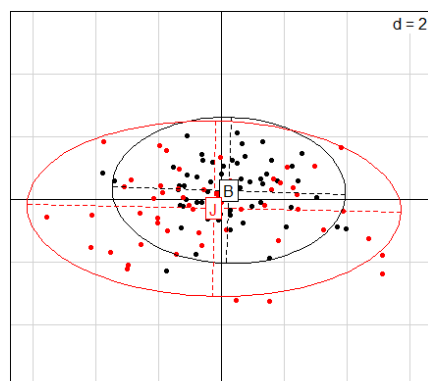
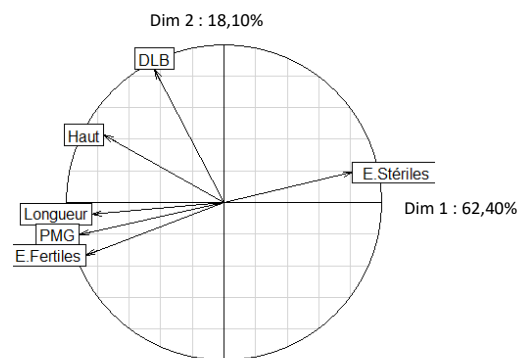
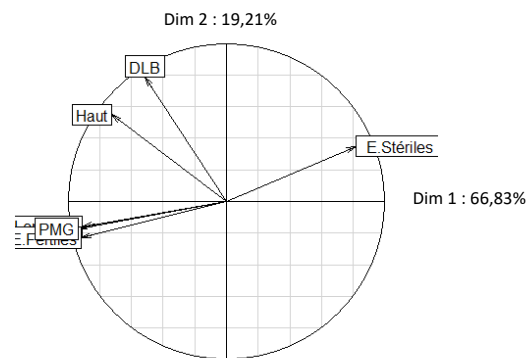


Figure 15: ACP des PopDyn de Gilles (J) et en sélection naturelle (B)



naturelle. Ce constat est le même pour les modalités de Bouchemaine (Florent sélectionne des épis plus grands).

On observe des résultats similaires pour ce qui est du poids de mille grains (PMG) des épis. En effet, les sélections humaines ont des PMG plus important que les populations en sélection naturelle sur les mêmes lieux.

Ces boîtes à moustaches permettent de constater que la sélection humaine semble améliorer les performances agronomiques des populations. Gilles, Thomas et Florent ont choisi des épis plus longs, avec des grains plus gros et contenant moins d'épillets stériles et plus d'épillets fertiles que leurs homologues en sélection naturelle.

On peut aussi noter un impact du lieu. Les résultats montrent de façon globale que les modalités de Bouchemaine semblent être moins productives que celles de la Saudrais. Cela peut s'expliquer par le fait que le potentiel des terres de la ferme de Forent soit assez faible, alors qu'à la Saudrais, il serait plus fort (on ne connaît pas vraiment son potentiel car cela fait des années et des années qu'il n'avait pas été cultivé).

3.2.2. Analyses en composantes principales (ACP) pour déterminer l'impact des différents facteurs sur les populations

Pour étudier l'influence des facteurs sur le comportement agronomique global des populations et sur leur diversité, des ACP ont été réalisées sur des couples de populations « comparables » (couples établis selon les facteurs étudiés).

3.2.2.1. Influence du lieu

La figure 12 présente les résultats de la CCP en sélection naturelle dans les deux lieux (modalités A et E), et la figure 13, ceux des populations dynamiques en sélection naturelle dans les deux lieux (modalités B et F).

Les cercles des corrélations des deux ACP sont très similaires. L'axe 1 est construit par les variables « PMG », « E.Fertiles », « Longueur », en opposition à la variable « E.Stériles ». L'axe 2 est formé majoritairement par la variable « DLB ».

Pour les deux lieux, que ce soit à Bouchemaine ou à La Saudrais, le constat est le même : les populations en sélection naturelle sont en opposition par rapport à l'axe 2. Les populations

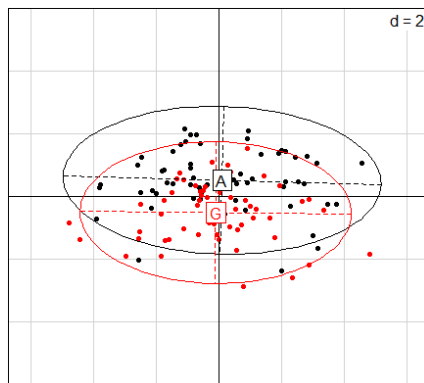


Figure 16: ACP des CCP de Thomas (G) et en sélection naturelle (A)

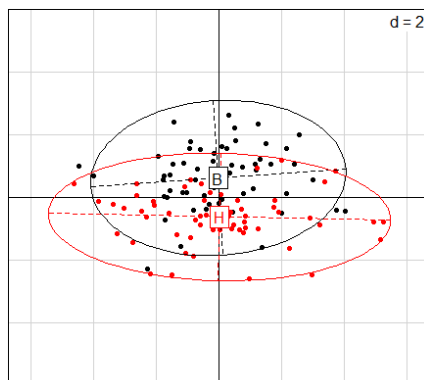
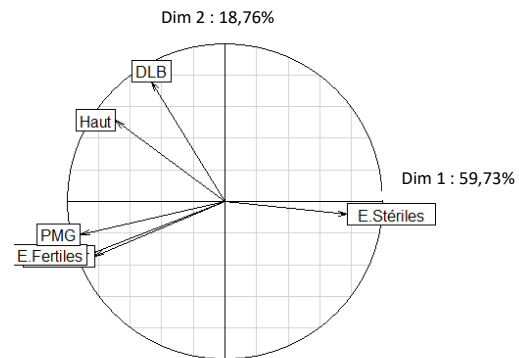


Figure 17: ACP des PopDyn de Thomas (H) et en sélection naturelle (B)

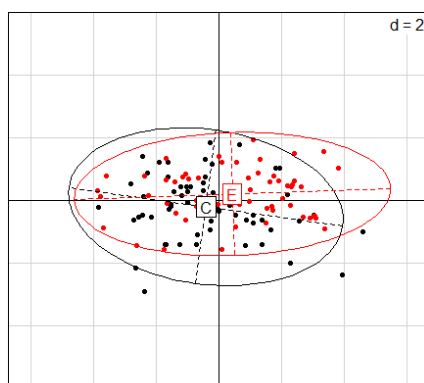
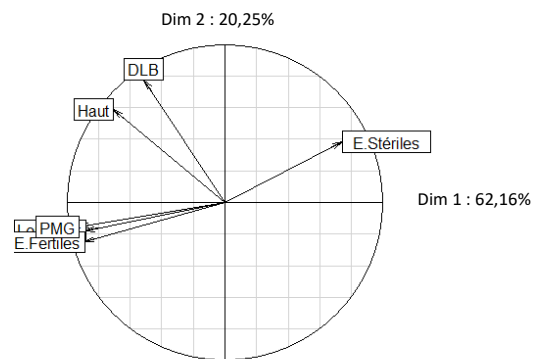


Figure 18: ACP des CCP de Florent (C) et en sélection naturelle (E)

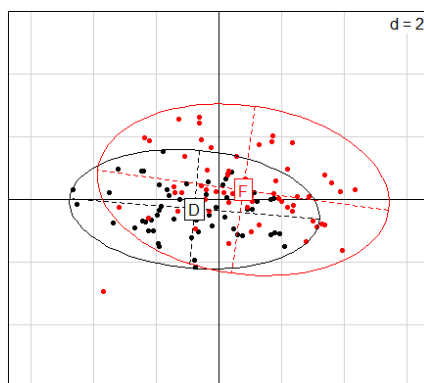
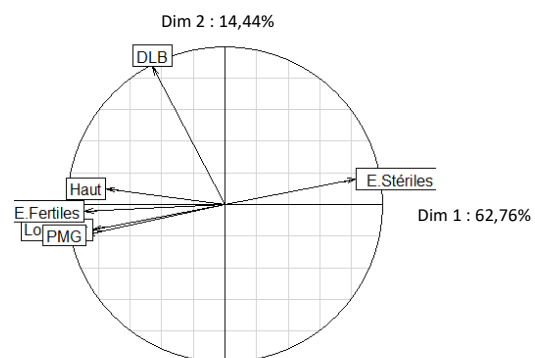
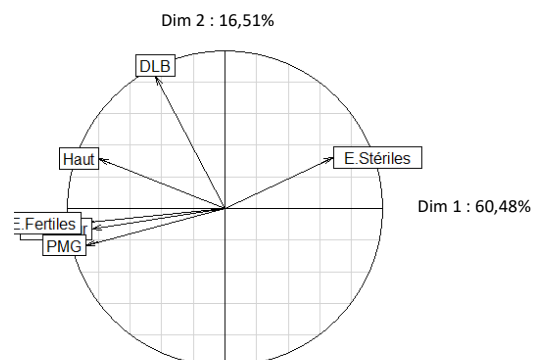


Figure 19: ACP des PopDyn de Florent (D) et en sélection naturelle (F)



de la Saudrais tendent à être légèrement plus performantes que celles de Bouchemaine. Cela laisse entendre une influence du lieu sur les populations, qu'elles soient issues d'une CCP ou d'un mélange dynamique. Cependant, les résultats obtenus ne permettent pas d'affirmer que cette influence soit significative. Les barycentres, bien qu'ils soient de part et d'autre de l'axe 2 restent relativement proches et les ellipses contenant environ 95% des individus de chaque population se superposent en majeure partie.

La CCP de Bouchemaine possède une ellipse légèrement plus concentrée que celle de la Saudrais ce qui signifie que celle-ci semble être moins diversifié. Cette différence n'apparaît pas sur les PopDyn.

3.2.2.2. Influence de la sélection humaine

Les figures 14 à 19 présentent les résultats des populations sélectionnées par Gilles, Thomas et Florent. Les cercles des corrélations des ACP permettant de tester l'influence de la sélection humaine sont très similaires entre eux et restent très proches de ceux obtenus pour tester l'influence du lieu. L'axe 1 est construit par les variables « PMG », « E.Fertiles », « Longueur », avec à l'opposé la variable « E.Stériles ». Et l'axe 2 principalement par la variable « DLB », mais aussi légèrement pas la variable « Haut ».

A la Saudrais, chacun des sélectionneurs a sélectionné ses populations CCP et PopDyn de la même manière. Les élections de Thomas s'opposent aux sélections naturelles par rapport à l'axe 1, tandis que les sélections de Gilles s'opposent aux populations naturelles « en diagonale » (par rapport aux axes 1 et 2). Il semble que Gilles et Thomas aient légèrement amélioré les performances des populations. Les ellipses des PopDyn de Gilles et Thomas sont plus larges, ainsi on peut supposer que la sélection humaine ait légèrement diversifié ces populations.

A Bouchemaine Florent a sélectionné ses populations de façons similaires. Ses sélections s'opposent aux sélections naturelles par rapport aux axes 1 et 2 (en diagonale). Florent a influencé positivement les performances agronomiques des populations. Pour la CCP, cette amélioration est cependant à relativiser. Les barycentres sont très proches et les ellipses se superposent en très grande majorité. Sa sélection PopDyn montre une ellipse plus concentrée, ce qui indique une probable réduction de la diversité.

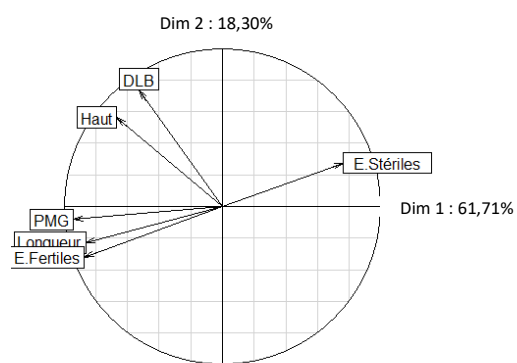
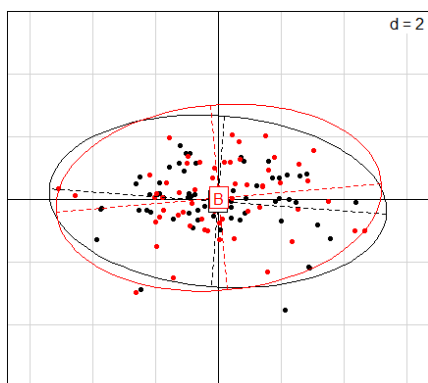


Figure 20: ACP de la CCP (A) et de la PopDyn (B) en sélection naturelle de la Soudrais

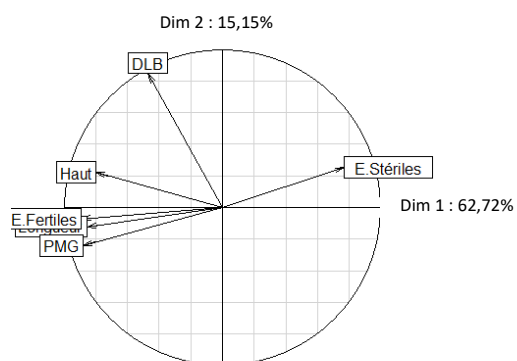
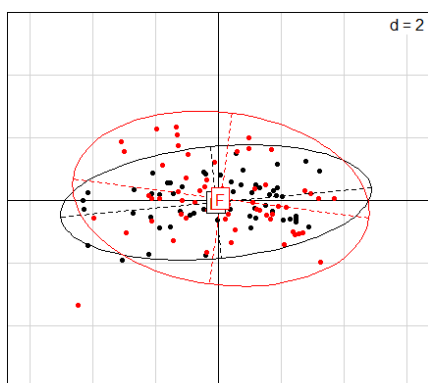


Figure 21: ACP de la CCP (E) et de la PopDyn (F) en sélection naturelle de Bouchemaine

3.2.2.3. Influence de la stratégie

L'influence de la stratégie est analysée en comparant les CCP et PopDyn en sélection naturelle, à partir des figures 20 et 21. Le cercle des corrélations de la comparaison des modalités de La Saudrais montre que les variables « PMG », « E.Fertiles », « Longueur » et « E.Stériles » en opposé contribuent à la l'axe 1. Et la variable « DLB » contribue en grande majorité à l'axe 2. Pour le cercle des corrélations des modalités de Bouchemaine la variable « Haut » contribue aussi de façon importante à l'axe 1.

Les résultats des deux ACP ne montrent quasiment aucune différence entre les stratégies. En effet, les barycentres sont identiques. La seule différence apparaît sur l'ellipse de la PopDyn à Bouchemaine qui est légèrement plus large, montrant probablement une diversité plus importante. En conséquence, ces résultats nous amènent à penser qu'après 5 générations la stratégie de sélection (CCP ou PopDyn) n'a pas d'influence sur les performances agronomiques des populations ni sur leur niveau de diversité visible.

3.3. Synthèse

Les observations faites sur les histogrammes de fréquences et les boîtes à moustaches rejoignent les conclusions faites sur les résultats des indices de Nei et sur les ACP. Cependant, les résultats obtenus ne montrent pas de différences importantes entre les populations, quels que soient les facteurs. En revanche, on observe quelques spécificités de chacune des populations sur certains critères selon certains facteurs.

Concernant les différences entre stratégies, il semble qu'après 5 générations la stratégie de création de population (CCP ou PopDyn) n'ait pas d'influence sur le comportement ni la diversité visible des populations. Cela vient réfuter notre hypothèse de départ sur l'augmentation du niveau de diversité d'une CCP par rapport à une Population Dynamique.

L'hypothèse d'homogénéisation et d'amélioration des performances des populations par la sélection humaine fut posée au début du rapport. La sélection humaine ne semble pas homogénéiser les populations, ce qui conteste notre hypothèse de départ. Cependant, bien qu'elle soit faible, il semble qu'elle apporte une légère amélioration des performances agronomiques. Ces résultats ne paraissent néanmoins pas assez significatifs pour pouvoir

confirmer notre hypothèse de départ et seraient à approfondir avec des estimations de rendement. Les agriculteurs étant à la recherche de diversité, les résultats suggèrent qu'ils font attention à la conserver tout en essayant d'améliorer les performances des populations, ce qui est un savoir-faire très différent de la sélection classique dans laquelle un phénotype (et génotype pour le blé) "élite" est amplifié.

Par rapport au lieu, nous avons émis l'hypothèse d'une influence de celui-ci sur le comportement et la diversité des populations. Les influences observées sont faibles. Néanmoins, les résultats montrent que les populations en sélection naturelle de la Saudrais sont relativement plus performantes que celles de Bouchemaine. Aussi, les indices de diversité ont montré que le lieu influence la diversité de la forme et de la noirceur des épis. L'influence du lieu est observée à plusieurs reprises sur les données quantitatives et qualitatives. Cette redondance dans les résultats semble témoigner d'une véritable influence de ce facteur.

4. Discussion

4.1. Propositions d'améliorations

Certaines variables qualitatives sont discutables. Le caractère « noirceur » n'est pas un indicateur fiable de diversité. Comme expliqué auparavant, ce caractère est l'expression de la sensibilité d'un individu (un épi) à l'humidité. Ce dernier n'est utile que si l'intégralité des modalités sont cultivées dans des conditions d'humidité semblable. Or, dans le cadre de cette expérimentation ce n'est pas le cas. Un indicateur dépendant de l'environnement en fait un outil d'analyse peu fiable (Cadot. 2006). Comme expliqué plus haut, un biais d'observation sur le caractère « couleur » fut rencontré. Ce biais a mené à des résultats moins précis. Pour éviter que cela ne se reproduise, établir des classes de distinction plus précise serait utile.

Les indices de Nei permettent de visualiser la diversité phénotypique d'un échantillon selon un caractère particulier. Aussi, il est possible d'observer s'il existe des différences entre échantillons. Seulement, l'indice ne permet pas de déterminer si ces différences sont significatives ou non. Dans la continuité des analyses, il faudrait étudier ces différences. Celles-ci peuvent être étudiées en utilisant des indicateurs tels que l'indice de fixation de Wright (F_{st}) qui classe la variance en trois classes précises : faible, moyenne, forte. Il existe d'autres indicateurs. Déterminer lequel serait le plus adapté à ces analyses est nécessaire.

Les échantillons des populations contiennent 60 individus. Cela est dû au fait que la quantité de travail pour les prélèvements et les observations est considérable. Pour augmenter la pertinence des résultats, on pourrait réaliser les analyses sur des échantillons plus importants. Cela permettrait une meilleure représentativité des populations. 200 individus par échantillons serait une quantité intéressante à étudier.

4.2. Réflexions sur l'expérimentation

La question sur l'importance du nombre de parents dans cette étude me fut posée. En effet, cette expérimentation est construite à partir de seulement 6 variétés parentes, ainsi le choix de ces derniers est crucial. Deux stratégies sont possibles. Dans la situation où on ne peut pas prédire la valeur dans d'un croisement, la stratégie appropriée est d'en faire le plus possible. Seulement, la capacité des programmes de sélections est limitée, alors plus il y a de croisements, plus la proportion de descendants dans le mélange sera faible. Ainsi, cela

diminue la probabilité de résilience d'un bon génotype. L'autre stratégie est plus appropriée, d'autant plus dans le cas de recherche participative avec des agriculteurs. Celle-ci consiste à ne réaliser que peu de croisement dont on sait qu'ils sont favorables. Cela augmente la proportion de descendance et la probabilité de résilience de ces derniers. Dans cette situation la participation des agriculteurs pour leurs perceptions et connaissances est avantageux (Witcombe et Virk, 2001).

Pour percevoir l'importance de l'expérimentation dans sa globalité, analyser les résultats et leur évolution à travers les années donnerait une approche intéressante et même nécessaire à l'appréhension de la construction des populations diversifiées. Compléter cette analyse avec des analyses génétiques permettrait aussi d'obtenir un type d'information différent et à une autre échelle.

Des boulangers participent à l'expérimentation. Des tests de transformations en pain pourraient révéler des différences entre les stratégies que les analyses actuelles ou même des analyses génétiques ne permettent pas.

Conclusion

Les résultats de 2019 sont dans la continuité de ceux des années précédentes. Cette étude a montré que le principal facteur d'influence du comportement et de la diversité des populations n'est pas la stratégie de sélection mais l'environnement de culture et d'évolution. Ce résultat semble valable sachant que l'on sait que les interactions génotype-environnement sont très importantes et d'autant plus en AB quand les environnements ne sont pas homogénéisés. Aussi, il est important de noter que la sélection par l'homme n'amoindrit pas la diversité (dans certaines cas elle l'augmente même) mais qu'elle semble cependant améliorer (comme attendu) les performances agronomiques.

Pour les années à venir, compléter l'expérimentation avec analyses plus précises serait adéquat. En effet, les résultats de cette année ne permettent pas une lecture significative de ces derniers.

La création de populations diversifiées de blés tendres pour l'agriculture biologique offre des possibilités intéressantes et prometteuses pour les agriculteurs. Sur le long terme, celles-ci s'adaptent à leur environnement et si couplées avec une sélection par l'agriculteur cela pourrait être une alternative intéressante et viable aux semences conventionnelles. Au vue de ses perspectives, une réflexion sur la réglementation des semences, son évolution et les autres méthodes de sélections semble appropriée.

Bibliographie

- Bonneuil, C., Thomas, F. (2012). Semences: une histoire politique. Charles Léopold Mayer.
- Caplat, J. (2012). L'agriculture biologique pour nourrir l'humanité. Actes Sud.
- Doré, C., Varoquaux, F. (2006). Histoire et amélioration de cinquante plantes cultivées, 1ère édition. ed, Savoir faire. INRA.
- Döring, T., Knapp, S., Kovacs, G., Wolfe, M. (2011) Evolutionary plant breeding in cereals—into a new era. *Sustainability*, 3 (10), pp. 1944-1971.
- Dubois, P. (2006). Estimation de la diversité des variétés inscrites au GEVES Catalogue français des espèces agricoles cultivées Brion 50.
- Gallais, A. (2018). Histoire de la génétique et de l'amélioration des plantes, Synthèses. Quae
- Hamon, C. (2007). Mise en place d'un indicateur de diversité cultivée à l'échelle territoriale, Cas de l'évolution de la diversité du blé tendre au cours du XXe siècle. Mémoire de fin d'étude Agrocampus Ouest
- La réglementation des semences et des plants [site internet], (2019) . GNIS. URL <https://www.gnis.fr/reglementation-semences/> (consulté le 05/07/2019).
- Les enjeux de la production biologique en France - Analyse n°50 [site internet], (2019). URL <https://agriculture.gouv.fr/les-enjeux-de-la-production-biologique-en-france-analyse-ndeg50> (consulté le 30/06/2019).
- Lieberson, S.(1969). Measuring Population Diversity." *American Sociological Review* 34 (6): 850. <https://doi.org/10.2307/2095977>.
- Qu'est-ce que l'ITAB ?. [site internet], (2019). ITAB. URL. <http://www.itab.asso.fr/itab/missions.php>. (consulté le 24/06/2019)
- Naville, M. (2005). La biodiversité des espèces cultivées: Analyse dans le cas du blé. ENS Cachant
- Norton, L.R., Fuller, R.J., Feber, R.E., Johnson, P.J., Chamberlain, D.E., Joys, A.C., Mathews, F., Stuart, R.C., Townsend, M.C., Manley, W.J., Wolfe, M.S., Macdonald, D.W., Firbank, L.G., (2006). The benefits of organic farming for biodiversity. In: Atkinson, C; Ball, B; Davies, D H K; Rees, R; Russell, G; Stockdale, E A; Watson, C A; Walker, R and Younie,

D (Eds.) *Aspects of Applied Biology* 79, What will organic farming deliver? COR 2006, Association of Applied Biologists, pp. 191-194

Rieben, S., Olena K., Bernhard S., Simon L. Z. 2011. Gene Flow in Genetically Modified Wheat." Edited by Edward Newbigin. *PLoS ONE* 6 (12): e29730.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0029730>.

Serpolay, E., Dawson, J.C., Chable, V., Lammerts Van Bueren, E., Osman, A., Pino, S., Silveri, D., Goldringer, I., (2011). Diversity of Different Farmer and Modern Wheat Varieties Cultivated in Contrasting Organic Farming Conditions in Western Europe and Implications for European Seed and Variety Legislation. *Organic Agriculture* 1 (3): 127–45. <https://doi.org/10.1007/s13165-011-0011-6>.

Suneson, C. A. (1956). An Evolutionary Plant Breeding Method 1. *Agronomy Journal*, 48(4), 188-191.

UMR BAGAP - Accueil. [site internet], (2019). INRA. URL. <https://www6.rennes.inra.fr/bagap>. (consulté le 15/06/2019)

Witcombe, J., Virk, D. (2001). Number of Crosses and Population Size for Participatory and Classical Plant Breeding. *Euphytica* 122 (March): 451–62.
<https://doi.org/10.1023/A:1017524122821>.

Wolfe, M.S., Baresel, J.P., Desclaux, D., Goldringer, I., Hoad, S., Kovacs, G., Löschenberger, F., Miedaner, T., Østergaard, H., Lammerts van Bueren, E.T. (2008). Developments in breeding cereals for organic agriculture. *Euphytica* (163), pp. 323-346

Wolfe, M.S., Hinchliffe, K.S., Clarke, S.M., Jones, H., Haigh, Z., Snape, J., Fish, L. (2006) Evolutionary breeding of wheat for low input systems. Paper at: *Joint Organic Congress*, Odense, Denmark, May 30-31, 2006.

Annexes

Annexe 1 : Réflexion personnelle sur les métiers de recherche

Annexe 2 : Notices Bibliographique

Annexe 2

Comparaison de deux stratégies de création de populations diversifiées de blé tendre adaptées à l'agriculture biologique.

Auteur : Henri Gorioux

Promotion : 117

Signalement du rapport : 29 pages, 21 figures, 20 références bibliographiques

Mots-clés : Composite cross population, population dynamique, sélection, semences, agriculture biologique, *Triticum aestivum*

Objectifs de l'étude :

L'objectif de cette étude est de comparer deux stratégies de création de populations de blé tendre génétiquement diversifiées : la composite cross population (CCP) et la population dynamique (PopDyn), en termes d'évolution de la diversité au cours du temps et de potentiel agronomique. En plus de l'influence de la stratégie, l'impact du lieu et de la sélection humaine sur les populations est étudié.

Matériels et méthodes :

La première stratégie, la PopDyn consiste à créer un mélange contenant des variétés parents en quantités égales et le laisser évoluer à travers le temps (on resème ce que l'on récolte). La CCP consiste à croiser des variétés parents 2 à 2, puis à mélanger la descendance, qu'on laisse évoluer de la même manière que la population dynamique. Les parents utilisés sont les mêmes pour les deux stratégies. Cette année constitue la 5^{ème} année de culture des populations après création des mélanges.

Les populations évoluent sur des parcelles d'agriculteurs bios pour être au maximum dans des conditions réelles de cultures. Pour tester l'influence du lieu, les populations sont cultivées dans 2 environnements différents depuis la deuxième génération (une en Maine et Loire, et l'autre en Ile-et-Vilaine). De plus, en 2018, l'agriculteur du Maine et Loire accueillant l'essai et 2 boulangers en Ile-et-Vilaine ont réalisé une sélection manuelle sur chacune des populations.

En 2018, 10 modalités ont donc été semées. Sur chacune d'entre elles des observations au champ ont été réalisées à maturité sur 60 brins de blé. Les 60 épis correspondant ont été prélevés pour conduire de nouvelles observations en laboratoire. Les différents types de données (qualitatives et quantitatives) ont été analysés sur le plan du comportement et de la diversité grâce à des analyses statistiques.

Résultats :

Après 5 générations, CCP et PopDyn en évolution naturelle ne montrent pas de différences claires en ce qui concerne les performances agronomiques ni l'expression de la diversité génétique. La sélection humaine semble conserver la diversité des populations tout en améliorant légèrement les critères de performances. Quant au lieu, il semble avoir un impact sur les performances agronomiques des populations, plus important que la stratégie de sélection. Il apparaît aussi avoir une influence sur quelques caractères phénotypiques tel que la forme et la noirceur des épis.

Conclusion :

Les résultats de 2019 montrent peu de différences entre les modalités. Après 5 générations, il semble que la stratégie n'ait pas d'influence sur l'expression de la diversité génétique ou sur le potentiel agronomique des populations. La principale influence sur l'évolution et l'expression des populations serait le lieu, puis la sélection humaine et enfin la stratégie.